भौतिकी शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेते

भाग ४

अनुवादक : चं. रा. तळपदे

महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ मुंबई

भौतिकी शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेते

Nobel Prize Winners in Physics 1931-1940

by Niels H. de. V. Heathcote,

या पुस्तकाचा अनुवाद

अनुवादक

चं. रा. तळपदे

महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ

किंमत रुपयें १२/-

निवेदन

डॉ. चं. रा. तळपदे यांनी अनुवादित केलेल्या "भौतिक शास्त्रातील नोबेल पारितोषिकाचे मानकरी" (सन १९०१ ते १९५०) या पुस्तकाच्या चवथ्या भागाचे प्रकाशन करण्याचा आज योग येत आहे. या पुस्तकाचे प्रकाशन एकूण पाच भागात होणार असून त्यापैकी इ. स. १९३१ ते १९४० या काळातील भौतिक शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेत्यांचा अल्पपरिचय व त्यांच्या ज्या संशोधनास नोबेल पारितोषिक मिळाले आहे त्याची थोडक्यात माहिती या भागात करुन देण्यात आली आहे. पाचव्या भागाचे प्रकाशनही अल्पावधीत करण्यात येईल. वाचक या सर्वच पुस्तकांचे स्वागत करतील अशी आशा आहे.

सुरेंद्र बारलिंगे
अध्यक्ष,
महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ.

४२, यशोधन,
मुंबई - ४०० ०२०,
दि. २ एप्रिल १९८४.

प्रस्तावना

साधारण पंधरा सोळा वर्षापूर्वी रसायन शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेते (१९०१–१९५०) हे माझे पुस्तक पाच भागात प्रसिद्ध झाले. या पुस्तकाचे महाराष्ट्रात जे स्वागत झाले, त्यामुळे अुत्तेजन मिळून मी मूलतत्वांचा शोध व रसायनशास्त्राचे कारागीर (भाग १ ते ६) ही पुस्तके लिहिली व ती व्हीनस प्रकाशनाने प्रसिद्ध केली. या दोन पुस्तकास महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळाचा पुरस्कारही मिळाला. रसायनशास्त्राचा भौतिकीशास्त्राशी फार जवळचा संबंध आहे. प्राध्यापक म्हणून भौतिकी रसायनशास्त्र शिकवत असता त्यातील काही विषय भौतिकीशास्त्रात मोडत असल्याचे आढळून येत होते. त्यामुळे भौतिकीशास्त्रातील नोबेल पारितोषिकांचे विजेते असे पुस्तक लिहावे हा विचार माझ्या मनात बरेच दिवस घोळत होता. पण पुस्तकाच्या लेखनास अवश्य तितका वेळ मिळत नव्हता. १९७५ साली प्राध्यापकीय कामातून मुक्त झाल्यानंतर भरपूर मोकळा वेळ मिळू लागला. त्यावेळी भौतिकीशास्त्राचा पुन्हा नव्याने अभ्यास करून या पुस्तकाच्या लेखनास हात घातला. सुदैवाने याच विषयावरचे नील्स अेच्. डी. व्ही. हीथकोट यांचे पुस्तक (न्यूयॉर्कच्या हेन्री शुमन कंपनीने प्रसिद्ध केलेले) हाती आले. ते पुस्तक वाचून अभ्यासल्यावर स्वतंत्र वेगळे पुस्तक लिहिण्याऐवजी, त्याच पुस्तकाचा अनुवाद करावा असे मी ठरवले तो अनुवाद तयार केल्यानंतर बरेच दिवस माझ्यापाशीच होता. पुस्तकांची एकंदर पृष्ठसंख्या पाहाता महाराष्ट्रातला प्रकाशक या पुस्तकाचे प्रकाशन हाती घेईल का, अशी शंका वाटू लागली. काही प्रकाशकाबरोबर पत्र व्यवहार करता, ही शंका खरी ठरली. त्यानंतर माझे मित्र प्रो. प. म. बर्वे यांच्या सुचनेवरुन हे पुस्तक महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ प्रसिद्ध करील का, हे पाहण्याचे मी ठरविले व त्याप्रमाणे पुस्तकाचे हस्तलिखित मंडळाकडे नेऊन दिले. मंडळाने पुस्तक प्रसिद्ध करण्याचे ठरवले व त्याप्रमाणे पुस्तक आता प्रसिद्ध होत आहे. पुस्तकाचे प्रकाशन हाती घेतल्याबद्दल महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळाचे व त्या मंडळाच्या अध्यक्षांचे आभार मानणे माझे कर्तव्य आहे व ते मी मोठ्या आनंदाने पार पाडत आहे. मंडळाचे अध्यक्ष डॉ. सुरेन्द्र बारलिंगे यानी पुस्तकाचे हस्तलिखित स्वतः वाचून पाहिले आणि नंतरच निर्णय घेतला.

या आधीच्या " रसायनशास्त्रातील नोबेल पारितोषिकाचें मानकरी " या पुस्तकासारखीच या पुस्तकाची रचना आहे. पारितोषिक विजेत्यांचा थोडक्यात परिचय, ज्या कामाबद्दल पारितोषिक मिळाले त्या कामाची माहिती व त्या कामामुळे संशोधनावर व विज्ञानावर झालेला परिणाम अशी या पुस्तकाची साधारण

रचना आहे. मराठी वाचकांच्या हातात अेक जाडजूड ग्रंथ दिल्यास, तो कदाचित बिचकेल व ग्रंथ वाचण्याच्या भरीस पडणार नाही असे वाटून ग्रंथ पाच भागात प्रसिद्ध केला आहे. १९०१ ते १९५० या पन्नास वर्षांच्या कालखंडाचे दहा वर्षांचा एक असे पाच कालखंड कल्पून प्रत्येक कालखंडासाठी एक भाग, अशा तऱ्हेने पाच भागात हे पुस्तक प्रसिद्ध होत आहे. या पुस्तकात पारितोषिक विजेत्यांच्या चरित्रावर विशेष भर दिलेला नाही. ज्या कामाबद्दल पारितोषिक मिळाले, त्या कामाची माहिती देण्यावरच भर दिला आहे. परितोषिक वितरणाचा समारंभ दर वर्षी स्वीडनमध्ये होतो. त्यावेळी पारितोषिक विजेता समारंभस्थळी जमलेल्या विद्वान मंडळीपुढे आपल्या संशोधनाची माहिती देणारे व्याख्यान देतो. संशोध-कांची अशी माहितीपूर्ण व्याख्याने पुस्तकरुपाने प्रसिद्ध झाली आहेत. त्या व्याख्यानांच्याच आधारे हीथकोट यानी आपले पुस्तक लिहिल्याने त्या पुस्तकाचाच अनुवाद मी केला आहे. अनुवाद करताना महाराष्ट्र शासनाला मान्य असलेली परिभाषा व त्या शासनाचा पदनाम कोष यांचा मुक्त हस्ताने वापर केला आहे. ज्या ठिकाणी इंग्रजी संज्ञेला मराठी प्रतिशब्द मिळाला नाही, त्याठिकाणी मूळचाच इंग्रजी शब्द ठेवला आहे. किंवा सुचेल तो मराठी प्रतिशब्द दिला आहे.

चरित्राच्या मिषाने विज्ञानविषयाची माहिती सांगता येते व ती वाचताना वाचक कंटाळत नाही असा अनुभव असल्याने, नोबेल पारितोषिक विजेत्यांची चरित्रे सांगायला घेतली आहेत. या चरित्राबरोबर दिलेली माहिती वाचल्यानंतर १९०१ पासून भौतिकीशास्त्राचा विकास कसा होत गेला याचे चित्र डोळ्यासमोर येईल. तसेच मोठमोठे शोध अल्प श्रमानी लागत नाहीत, त्यासाठी अपार कष्ट उपसावे लागतात याबद्दल वाचकांची खात्री होईल.

१९५० नंतर रसायनशास्त्राचा व भौतिकीशास्त्राचा विकास कसा झाला हे समजण्यासाठी १९५१ ते १९८२ च्या नोबेल पारितोषिक विजेत्यांची चरित्रे लिहायला पाहिजेत किंवा एक वेगळा ग्रंथ लिहीला पाहिजे.ते काम कोणातरी तरुण लेखकाने उचलावे अशी इच्छा प्रगट करावीशी वाटते.

अेखादा खाद्य पदार्थ तयार केल्यानंतर, त्याचे केवळ वर्णन करुन भागत नाही, तो खाऊन पाहावा लागतो. तेव्हाच त्याची चव समजते. त्याच न्यायाने हे पुस्तक वाचून पहावे व मग आपले मत बनवावे ही विनंती,

२-४-१९८४

– चं. रा. तळपदे

अनुक्रमणिका

चवथा खंड

वर्नर कार्ल हायसेनबर्ग

अर्विन श्रॉडिंजर

पॉल अेड्रियन मॉरिस डिरॅक

जेम्स चॅडविक

१९३१

या वर्षी नोबेल पारितोषिक दिले गेले नाही

१९३२

वर्नर कार्ल हायसेनबर्ग

(१९०१ -   )

"क्वांटम गतीशास्त्र या शास्त्राची निर्मिती करून, ते शास्त्र विविध विषयांच्या संशोधनासाठी व विशेष करून हायड्रोजनची दोन अॅलॉट्रॉपिक रुपे किंवा उपरूपे शोधून काढण्यासाठी वापरण्याबद्दल नोबेल पारितोषिक"

चरित्र

५ डिसेंबर १९०१ रोजी, जर्मनीतील ड्युसेलडॉर्फ शहराजवळील ड्युइसबर्ग गावात वर्नर कार्ल हायसेनबर्गचा जन्म झाला. त्यावेळी त्याच्या वडीलाना ड्युसेलडार्फ विद्यापीठात अध्यापक नेमण्यात आले होते. म्युनिच शहरात शालेय शिक्षण घेतल्यानंतर, त्याने म्युनिच विद्यापीठात प्रवेश मिळविला आणि अर्नोल्ड सॉमर-

फेल्ड यांच्या मार्गदर्शनाखाली तात्त्विक भौतिकीशास्त्राचा अभ्यास केला. १९२३ साली त्याने पी. अेच्डी. पदवी संपादन केली आणि गॉटिन्जेन विद्यापीठात मॅक्स बॉर्न यांचा सहाय्यक म्हणून अध्यापन कार्यास सुरवात केली. १९२४ ते १९२५ या काळात त्याने कोपन हेगन येथे भौतिकीशास्त्राचे विशेष अध्ययन केले. १९२६ मध्ये त्यास कोपनहेगन विद्यापीठात प्राध्यापक नेमले. परंतु एक वर्षानंतर तो जर्मनीस परतला आणि लाइप्झिग विद्यापीठात तात्त्विक भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून अध्यापन व संशोधन करू लागला. १९४२ ते १९४५ ही तीन वर्षे त्याने बर्लिनच्या मॅक्स प्लँक इन्स्टिटयूटचा संचालक व बर्लिन विद्यापीठाचा प्राध्यापक म्हणून कार्य केले. यानंतर गॉटिन्जेन येथे भौतिकीशास्त्राच्या विशेष अभ्यासाकरिता स्थापलेल्या मॅक्स प्लँक इन्स्टिटयूटचा संचालक म्हणून तो काम पाहू लागला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

क्वांटम उपपत्ती आणि तिचा अणुविज्ञानशास्त्रातील प्रश्न सोडविण्यासाठी उपयोग यांचा, १९२५ पर्यन्त हायसेनबर्गला चांगलाच परिचय झाला असला पाहिजे. अणुविज्ञानशास्त्रात ज्यानी विशेष कार्य केले त्या शास्त्रज्ञांपैकी दोघांच्या हाताखाली त्याने भौतिकीशास्त्राचा अभ्यास केला होता. प्रो. सॉमरफेल्डच्या मार्गदर्शनाखाली त्याने अध्ययन केले होते आणि प्रो. मॅक्स बॉर्न यांचा तो सहाय्यक होता. इतकेच नाही, तर अणुरचनेविषयीची त्यावेळी मान्यता पावलेली उपपत्ती ज्याने मांडली त्या नील्स बोरच्या प्रयोगशाळेत त्याने एक वर्ष काम केले होते. अणुरचनेविषयीची बोर-उपपत्ती हायड्रोजन अणूच्या बाबतीत, आश्चर्य करीत राहावे इतक्या प्रमाणात यशस्वी ठरली होती. परंतु हायड्रोजन अणूहून जास्त जटिल स्वरूपाच्या अणूंच्या बाबतीत ती लावता येत नव्हती. त्यामुळे अणुरचनेच्या प्रश्नाचा विचार काही तरी वेगळ्या प्रकारे केला पाहिजे असे मत १९२० सालीच व्यक्त करण्यात आले होते. त्यानंतर १९२४ साली डी ब्रॉलीने अगदी नाविन्यपूर्ण अशी वस्तूमात्र तरंग-उपपत्ती मांडली. डी ब्रॉलीच्या उपपत्तीच्या आधारे श्रॉडिंजर आणि डिरॅक यानी तरंग-गतीशास्त्राची मांडणी केली. डी ब्रॉली, श्रॉडिंजर आणि डिरॅक यांच्या विचारपद्धतीहून एका वेगळ्याच विचारपद्धतीने हायसेनबर्ग अणुरचनेचा प्रश्न सोडवण्याचा प्रयत्न करीत होता. बोर-सॉमरफेल्ड उपपत्तीमध्ये अणूच्या केन्द्रस्थानी असणाऱ्या अणुगर्भाभोवती एक किंवा त्याहून अधिक ऋणकण

एक किंवा तीहून अधिक कक्षामध्ये प्रदक्षिणा करतात असे म्हटले, तर डी ब्रॉलीने ऋणकणाऐवजी वस्तुमात्र तरंगांची कल्पना मांडली.

ज्या गोष्टी प्रत्यक्षात पाहाण्यात येत नाहीत त्या गोष्टींवर बोर उपपत्ती आधारली असल्याने ती यशस्वी होऊ शकली नाही असे हायसेनबर्गचे मत होते. अणू व रेणू यानी उत्सर्जित केलेल्या वर्णपटातील रेषांची वारंवारता व तीव्रता किंवा ठळकपणा यासारख्या प्रत्यक्ष निरीक्षण करता येण्यासारख्या गोष्टींवर अणु-रचनेविषयीची कोणतीही उपपत्ती आधारायला पाहिजे असे हायसेनबर्गला वाटत होते. त्यामुळे त्याने मांडलेल्या अण्विक गतीशास्त्रात, जुन्या उपपत्तीमध्ये कल्पिलेल्या ऋणकणकक्षांची जागा, वर्णपटातील रेषांची वारंवारता व तीव्रता किंवा ठळकपणा यासारख्या प्रत्यक्ष निरीक्षणाने ठरवता येण्यासारख्या गोष्टींनी घेतली आहे, आणि अणू कसा असेल याचे चित्र रेखाटण्याचा प्रयत्नही केलेला नाही. लेवी सिव्हिटा याने मांडलेल्या गणिती-पृथक्करण पद्धतीत, आइनस्टाइनला जसे एक मोठे साधन हाता आले, त्याप्रमाणे अणुरचनेचा विचार करताना हायसेनबर्गने मॅट्रिक्स बीजगणित हे शास्त्र फार उत्कृष्ट रीत्या हाताळले. त्यामुळे त्याने मांडलेल्या क्वांटम गती-शास्त्राला मॅट्रिक्स गतीशास्त्र म्हणतात व ते शास्त्र तरंगगतीशास्त्राहून थोडेसे भिन्न आहे असे समजतात.

निरीक्षणात आलेल्या गोष्टींचे स्पष्टीकरण बोर उपपत्तीत मिळत होते, तसेच ते हायसेनबर्ग उपपत्तीतही मिळत होते. एवढेच नाही, तर ज्या गोष्टींचे स्पष्टीकरण जुन्या उपपत्तीत मिळत नव्हते, त्या गोष्टींचेही स्पष्टीकरण हायसेनबर्ग उपपत्तीने दिले. एकटया अणूचा किंवा रेणूचा विचार न करता, अणुप्रणालीचा किंवा रेणुप्रणालीचा विचार त्याच्या उपपत्तीत असल्याने त्याची उपपत्ती अणूना व रेणूना लावता येते. ऋणकणाला फिरकी असते असे धरून, अण्विक वर्णपटात दिसून येणाऱ्या काही गोष्टींचे स्पष्टीकरण उलेनबेक आणि गॉडश्मिट यानी १९२५ मध्ये दिले. त्या स्पष्टीकरणासाठी मॅट्रिक्स गतीशास्त्र आणि तरंग गतीशास्त्र ही दोन्ही शास्त्रे समतुल्य आहेत असे १९२७ पर्यंत श्रॉडिंजरने सिद्ध केले. नवीन गती-शास्त्राच्या आधारे हायसेनबर्गने हायड्रोजनसारख्या व्दिअण्विक रेणूंच्या वर्णपटात ठळक व पुसट रेषा आलटून पालटून का मिळतात याचे स्पष्टीकरण दिले. हायड्रो-जन रेणूचे दोन प्रकार असायला पाहिजेत असे त्याने सिद्ध केले. ऑर्थो हायड्रोजन-मध्ये दोन्ही हायड्रोजन अणूंची फिरकी एकाच दिशेने असणार आणि हायड्रोजनमध्ये

दोन्ही हायड्रोजन अणूंच्या फिरक्या एकमेकांच्याविरुद्ध दिशेला असणार–म्हणजे एका अणूची फिरकी घड्याळाच्या काट्याप्रमाणे असली तर दुसऱ्या अणूची फिरकी घड्याळाच्या काट्याच्याविरूद्ध दिशेने असणार. ऑर्थो हायड्रोजन हा हायड्रोजनचा नेहमी दिसून येणारा प्रकार असून, हायड्रोजनमध्ये ऑर्थो हायड्रोजन पॅरा हायड्रोजनच्या तिप्पट किंवा त्याहून जास्त प्रमाणात असायला पाहिजे असे हायसेनबर्गचे म्हणणे होते. या म्हणण्याला पुष्टी देणारा पुरावा १९२९ मध्ये मिळाला. त्याला नोबेल पारितोषिक मिळाल्याचे जाहीर करताना, ऑर्थो व पॅरा हायड्रोजनच्या शोधाबद्दल त्यास पारितोषिक देण्यात आले आहे असा उल्लेख पारितोषिक समितीने केला आहे.

याशिवाय हायसेनबर्गने १९२७ मध्ये एक महत्त्वाचा सिद्धांत मांडला असून तो सिद्धांत अनिश्चितता तत्त्व या नावाने ओळखला जातो. अणूविषयीची माहिती किती अचूकतेने सांगता येते, याला काही मर्यादा आहेत, असे हे अनिश्चितता तत्त्व सांगते. आपल्या ज्ञानेंद्रियांच्या किंवा मापन करण्याच्या साधनातील अपरिपूर्णतेमुळे या मर्यादा पडत नसून, त्या मर्यादा असण्याचे कारण अण्विक घटनेतच सामावलेले आहे असे हायसेनबर्गचे म्हणणे होते. अणुगर्भाभोवती प्रदक्षिणा करणाऱ्या ऋणकणांची गती पाहाणे जरी शक्य झाले तरी ऋणकणाचे निश्चित स्थान आणि त्याचा प्रवेग यांचे एकाच वेळी अचूक वर्णन देता येत नाही. त्या वर्णनातील अचूकतेला अनिश्चितता तत्त्वाच्या मर्यादा पडतात, कारण ऋणकणाची गती पाहाण्यासाठी जे अतिलघू तरंगलांबीचे विकिरण वापरावे लागतात, त्या साधनाचाच पाहाण्याच्या कृतीवर परिणाम दिसून येईल. म्हणजे ऋणकणाची गती अचूकतेने पाहाता येणार नाही. अनिश्चितता तत्त्वामुळे अण्विक श्रेणीच्या सर्व मापनात अनिश्चितता येते. नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर, हायसेनबर्गने जर्मन भाषेत दिलेल्या व्याख्यानात या अनिश्चितता तत्त्वाचे थोडेसे विवेचन आहे. त्या व्याख्यानातील काही भागाचा अनुवाद पुढे दिला आहे.

" अवकाश व काल यामध्ये एखादी प्रक्रिया वस्तुनिष्ठपणे घडून येत असते. आणि डिफरेन्शियल समीकरणात मांडलेले भौतिकीशास्त्राचे नियम त्या प्रक्रियेस पाळले जातात, असे सिद्ध केल्यास त्या प्रक्रियेविषयीचा प्रश्न निकालात निघाला असे मानण्याचा प्रघात पारंपारिक भौतिकीशास्त्रात दिसून येतो. त्या प्रक्रियेविषयीची माहिती कशी मिळवली आणि कोणत्या प्रकारचे निरीक्षण करून, ती प्रक्रिया घडत असते हे प्रयोगानी सिद्ध केले त्या गोष्टींना जुन्या भौतिकीशास्त्रात

मुळीच महत्त्व देत नसत. तसेच कोणत्या गोष्टींचे निरीक्षण करून एखादी उपपत्ती सिद्ध करायची त्या गोष्टीना महत्त्व द्यावे अशी वृत्ती पारंपारिक भौतिकीशास्त्रात दिसून येत नव्हती. परंतु क्वांटम उपपत्तीच्या बाबतीत आपल्याला वेगळीच कार्यपद्धती स्वीकारावी लागते. क्वांटम गतिशास्त्रातल्या कल्पनावरून, काल व अवकाश यामध्ये घडून येणाऱ्या प्रक्रियेचे चित्र आपल्याला डोळ्यासमोर उभे करता येत नाही. त्यामुळे काल व अवकाश यात घडून येणाऱ्या घटनांच्या वस्तुनिष्ठ वर्णनाशी क्वांटम गतिशास्त्राचा संबंध नाही किंवा क्वांटम गतिशास्त्राच्या आधारे अशा घटनांचे वस्तुनिष्ठ वर्णन करता येत नाही ही गोष्ट आपोआपच समजून येते. अण्विक प्रणालीविषयीच्या खूप जटिल प्रायोगिक माहितीतून, वेगळया प्रकारच्या प्रयोगात काय घडण्याची संभाव्यता आहे याविषयीचे निष्कर्ष काढण्यासाठी क्वांटम गतिशास्त्राची विचारपद्धती वापरायची असते. (दोन वेगळया प्रकारचे प्रयोग करण्यासाठी, प्रयोगासाठी घेतलेल्या प्रणालीत फेरबदल झालेले नाहीत किंवा होणार नाहीत हे धरूनच हा विचार करायचा आहे.)

कोणत्याही व कितीही जटिल प्रणालीचे प्रायोगिक निश्चितीकरण करण्यासाठी, दुसऱ्या प्रयोगातून मिळावयाच्या माहितीची संभाव्यता माहित असते. दुसरा प्रयोग झाल्यानंतर मग निश्चित स्वरूपाची माहिती मिळते. त्यावरून असे समजून येते की प्रत्येक निरीक्षणानंतर, अण्विक प्रक्रियेच्या वर्णनात खंडित स्वरूपाचे बदल घडून येत असतात, आणि त्यामुळे कायिक किंवा भौतिकी प्रक्रीयामध्ये खंडित स्वरूपाचे बदल घडून येतात असे दिसते. जुन्या पारंपारिक उपपत्तीमध्ये प्रक्रिया घडून येण्याच्या प्रकारात, कोणत्या प्रकारे निरीक्षण केले आहे त्याला महत्त्व नाही. क्वांटम उपपत्तीमध्ये अण्विक प्रक्रियेचे निरीक्षण करताना, त्या प्रणालीत जे बदल घडतात, त्याना एक प्रकारचे निर्णायक महत्त्व आहे. प्रत्येक निरीक्षणानंतर, पुढील निरीक्षणात काय दिसेल त्याबद्दलची संभाव्यता कळून येत असल्याने, प्रणालीतील ज्या फरकावर नियंत्रण ठेवता येत नाही, ते प्रणालीतील फरक क्वांटम गतिशास्त्राच्या दृष्टीने निर्णायक स्वरूपाचे असतात असे बोरने सिद्ध केले आहे. पारंपारिक भौतिकीशास्त्र आणि अण्विक गतीशास्त्र यामध्ये असणारा फरक सहज समजेल असा आहे; कारण सूर्याभोवती फिरणाऱ्या ग्रहांच्या पृष्ठभागावरून परावर्तित होणाऱ्या प्रकाशाचा त्या पृष्ठभागावरील दाब त्या परावर्तनाचा अभ्यास करताना लक्षात घेण्याची काहीही जरूर नाही. परंतु वस्तुमात्राच्या अत्यंत सूक्ष्मतम कणांच्या बाबतीत मात्र त्या कणांच्या सूक्ष्मत्वामुळे त्यांचे निरीक्षण करताना, त्या कणांच्या वर्तणुकीत काही तरी हस्तक्षेप केल्यासारखे होते.

शिवाय अण्विक प्रणालीचे निरीक्षण करण्यामुळे त्या प्रणालीत घडून येणारा बदल, अण्विक प्रक्रियेचे दृश्य चित्रवर्णनाच्या मर्यादा ठरविण्यासाठी अवश्य असतो. गतीचे पारंपारिक गणित मांडण्यासाठी अण्विक प्रणाली विषयीच्या माहितीचे निश्चितीकरण करणारे प्रयोग करता येणे शक्य आहे असे समजा. उदाहरणार्थ अण्विक प्रणालीतील प्रत्येक ऋणकणाचा वेग आणि स्थान ज्यांच्या सहाय्याने अचूकपणे ठरवता येईल असे प्रयोग आपल्याला करता आले तर या प्रयोगातून मिळालेली माहिती क्वांटम उपपत्तीच्या आधारे करायच्या गणितात वापरता येत नाही. ती माहिती जर तशा प्रकारच्या गणितात वापरली तर तो प्रकार, ती गणिती पद्धत न वापरण्यासारखा आहे. यात निरीक्षणामुळे प्रणालीत होणाऱ्या हस्त-क्षेपाच्या अनिश्चिततेमुळे, पारंपारिक पद्धतीचे गणित मांडण्यासाठी लागणारी अचूक माहिती मिळत नाही. त्यामुळे अशा ठिकाणी क्वांटम गतीशास्त्र वापरल्यास, ते उपयुक्त ठरण्याची शक्यता आहे. क्वांटम उपपत्तीप्रमाणे गणित करण्याची पद्धत नीट काळजीपूर्वक तपासली तर असे दिसते की कणाचे स्थान निश्चित करण्यातल्या अचूकतेचा, त्या कणाचा प्रवेग ठरवण्यातील अचूकतेशी संबंध आहे. कणाचे स्थान ठरविण्यातील संभाव्य चूक आणि कणाच्या प्रवेगमापनातील संभाव्य चूक यांचा गुणाकार, कमीत कमी प्लँकचा स्थिरांक भागिले 4π याइतका असतो. सर्वसाधारण-पणे हा संबंध पुढील सूत्राने दाखवता येतो.

$$\Delta p \cdot \Delta q \geqslant \frac{h}{4\pi}$$

यात p व q हे canonically conjugate variables आहेत. पारंपारिक संख्यांच्या मापनातील या अनिश्चिततेमुळे क्वांटम उपपत्तीच्या गणित पद्धतीत बसेल अशा तऱ्हेने मापन मांडण्याची शक्यता जास्त आहे. बरीचशी उदाहरणे देऊन बोरने असे दाखवले आहे की प्रत्येक निरीक्षणाशी संबंधित असलेल्या हस्तक्षेपामुळे, अनिश्चितता संबंधामुळे पडणाऱ्या मर्यादांचे उल्लंघन करणे शक्य नाही. हस्तक्षेप किती होईल हे तत्वतः माहित नाही याचे कारण बोरच्या मताने मापनाच्या कल्पनेतील अनिश्चिततेमध्येच आहे. अवकाश व काल यामध्ये घडून येणाऱ्या कोण-त्याही प्रक्रियेचे प्रायोगिक निश्चितीकरण एका ठराविक बांधणीवर अवलंबून असते आणि या बांधणीला किंवा frames ला अनुलक्षून सर्व मापने केलेली असतात. (म्हणजे ज्या coordinate प्रणालीमध्ये मापन करणारा स्थिर असतो त्या प्रणा-लीच्या बांधणीत सर्व मापने केलेली असतात) ही बांधणी निश्चित केलेली आहे

किंवा न बदलता येण्यासारखी आहे असे मानल्यास आपल्याला कणाच्या प्रवेगाची काही माहिती नाही असे आपण प्रथमतःच म्हणतो आणि 'निश्चित' किंवा 'न बदलता येण्यासारखी' याचा अर्थ प्रवेगाच्या प्रदानामुळे बांधणीवर लक्षात येण्यासारखा बदल घडून येत नाही हा आहे. या प्रसंगी तत्त्वतः असणारी अनिश्चितता मापन करण्याच्या उपकरणात येते आणि तेथून तिचा प्रसार अण्विक प्रक्रियेमध्ये होतो. म्हणजे मुळात असणाऱ्या अनिश्चिततेपेक्षा, अण्विक प्रक्रियेमध्ये अधिक अनिश्चितता असते.

अशा परिस्थितीमध्ये सर्व प्रकारच्या अनिश्चितता काढून टाकण्यासाठी, पहाणी करण्याची वस्तू, मापन करण्याचे उपकरण आणि पहाणी करणारा या सर्वांना एका क्वांटम-यांत्रिकी पद्धतीत गोवल्यास बरे होईल. मापन करण्याचे कृत्य एक दृश्य कृत्य आहे. हे आग्रहाने प्रतिपादन करावेसे वाटते. कारण सरतेशेवटी भौतिकीशास्त्र म्हणजे काय, तर अवकाश व काल यामध्ये घडणाऱ्या प्रक्रियांच्या नैसर्गिक नियमांचे वर्णन होय. तेव्हा प्रक्रियांची पहाणी करणाराची वागणूक व प्रक्रियांचे मापन करण्याची उपकरणे यांचा उहापोह पारंपारिक भौतिकीशास्त्राच्या नियमाना धरून केला पाहिजे, कारण तसे जर केले नाही तर भौतिकीशास्त्रातल्या प्रश्नांचा आपण विचार न केल्यासारखे होईल. बोरने म्हटल्याप्रमाणे मापन करण्याच्या उपकरणामधील प्रत्येक कृत्य पारंपारिक भौतिकीशास्त्राच्या नियमांच्या दृष्टिकोनातून परिक्षले पाहिजे. मापन केल्यानंतर त्या मापनातून काय घडले आहे या विषयी संशयातीत निष्कर्ष काढण्यासाठी वर वर्णन केलेली विशिष्ट परिस्थिती असणे जरूर आहे. अवकाशात व काळात घडून येणाऱ्या प्रक्रिया निसर्ग-नियमाना धरून घडतात असे धरून, पहाणीतून मिळालेल्या माहितीचा विचार पारंपारिक भौतिकीशास्त्रात करतात. प्लँकचा स्थिरांक ज्यांचे संकेत चिन्ह मानता येईल अण्विक प्रक्रियांच्या प्राकृतिक रचनामुळे पडलेल्या मूलभूत मर्यादात बसू शकेल अशा प्रकारच्या योजनेचा क्वांटम उपपत्तीत समावेश केला जातो. अचूकतेच्या काही ठराविक मर्यादात, अण्विक प्रक्रियांचे, डोळ्यासमोर आणता येईल अशा प्रकारचे वर्णन करणे शक्य आहे. परंतु त्या ठराविक मर्यादामध्ये पारंपारिक भौतिकीशास्त्राच्या नियमांचे पालन झालेच पाहिजे. शिवाय अनिश्चितता संबंधामुळे पडलेल्या मर्यादामुळे, डोळसमोर आणता येईल अशा तऱ्हेचे अणूचे चित्र एकमेक असत नाही. डोळ्यासमोर आणता येईल अशा तऱ्हेने अणूचे वर्णन कण-गुणधर्मांच्या किंवा तरंग गुणधर्मांच्या आधारे करता येते.

क्वांटम यंत्रशास्त्राचे नियम तत्त्वत: सांख्यशास्त्रात मोडण्यासारखे आहेत. अण्विक प्रणालीच्या मापन करता येण्यासारख्या सर्व गोष्टी प्रयोगातून समजून आल्या किंवा मापल्या गेल्या तरी त्या प्रणालीची भविष्य काळात पाहाणी केल्यास काय माहिती मिळेल याचा अचूक कयास अगोदरच करता येत नाही. तरी सुद्धा काही गोष्टींचे पुढे केव्हातरी मापन केल्यास काय माहिती मिळेल याचा अचूक अंदाज अगोदर करता येतो. इतर बाबतीत, प्रयोगातून काय माहिती मिळण्याची संभाव्यता आहे एवढेच फक्त सांगता येते. क्वांटम यंत्रशास्त्राच्या नियमामध्ये अंतर्भूत असलेल्या निश्चिततेमुळे ऊर्जा व प्रवेग यांच्या अविनाशित्वाविषयीचे नियम संपूर्णपणे लागू झाले पाहिजेत असे अनुमान निघते. हे नियम इच्छिलेल्या व अपेक्षिलेल्या अचूकतेचे आहेत की नाहीत याची परीक्षा घेता येते, आणि त्यानंतर प्रयोगाने ठरविलेली अचूकता त्यांच्या बाबतीत नेहमीच दिसून येते. ऊर्जेच्या हस्तांतराविषयीच्या संशोधनात, त्या हस्तांतराबरोबर अवकाश व काल यामध्ये घडून येणाऱ्या प्रक्रिया विचारात न घेण्यामध्ये, क्वांटम यंत्रशास्त्राचे सांख्यिकी स्वरूप उघड होते."

संशोधनाचे परिणाम

हायसेनबर्ग, श्रॉडिंजर, डी ब्रॉली, पॉली, बॉर्न, डिरॅक व यासारख्या इतर गणिती शास्त्रज्ञांच्या परिश्रमामुळे नव्या क्वांटम यंत्रशास्त्राचा अण्विक व रेण्विक भौतिकीशास्त्राच्या वाढीवर चांगलाच प्रभाव पडलेला दिसून येतो. अण्विक व रेण्विक संशोधन क्षेत्रात तात्त्विक संशोधन करणाऱ्या शास्त्रज्ञांना हे नवीन क्वांटम यंत्रशास्त्र वापरण्यावाचून गत्यंतर नाही इतके ते महत्त्वाचे आहे.

१९३३

ओर्विन श्रॉडिंजर

(१८८७-   )

आणि

पॉल ऍड्रियन मॉरिस डिरॅक

(१९०२-   )

"अण्विक उपपत्तीचा नवा व उपयुक्त प्रकार शोधून काढल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक"

या वर्षी श्रॉडिंजर व डिरॅक या दोघामध्ये नोबेल पारितोषिक वाटून देण्यात आले. श्रॉडिंजरचे चरित्र व कार्य प्रथमतः दिले असून, त्यानंतर डिरॅकचे चरित्र व कार्य दिले आहे.

श्रॉडिंजर

चरित्र

१२ ऑगस्ट १८८७ रोजी ऑस्ट्रियाची राजधानी व्हिएन्ना येथे ओर्विन श्रॉडिंजरचा जन्म झाला. अकराव्या वर्षापर्यन्त त्याला घरीच शिकवून, नंतर शाळेत

दाखल करण्यात आले. १९०६ ते १९१० ही चार वर्षे त्याने व्हिएन्ना विद्यापीठात विज्ञानाचा अभ्यास केला. त्या विद्यापीठाचे भौतिकीशास्त्राचे प्राध्यापक फ्रिट्झ हॅसेनोर्ल यांच्या व्यक्तिमत्वाचा त्याच्यावर विशेष परिणाम झाला. १९११ मध्ये व्हिएन्ना विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्र विभागात सहाय्यक अध्यापक म्हणून त्याची नेमणूक झाली. त्यानंतर लवकरच म्हणजे तीन वर्षांनी ऑस्ट्रियाला महायुद्धात भाग घेणे भाग पडले. या महायुद्धात, ऑस्ट्रियन सैन्याच्या तोफखान्यातील एक अधिकारी म्हणून त्याने आघाडीवर काम केले. याच युद्धात त्याचे गुरुजी व जेष्ठ सहकारी प्रोफेसर हॅसेनोर्ल मृत्युमुखी पडले.

भौतिकीशास्त्राच्या नवीन उपपत्तींची ओळख असणारा सहाय्यक पाहिजे अशी मॅक्स वीनची मागणी असल्याने वीनचा सहाय्यक म्हणून तो महायुद्ध संपल्यावर जेनाला गेला. जेना येथे काही काळ काम केल्यानंतर, तो स्टटगार्ट येथे गेला व तेथून तो ब्रेस्लॉ विद्यापीठात प्राध्यापक म्हणून गेला. यानंतरची सहा वर्षे त्याने झुरिच विद्यापीठात भौतिकशास्त्राचे अध्यापन केले. १९२८ मध्ये बर्लिन विद्यापीठातून मॅक्स प्लँक कार्यनिवृत्त झाल्यानंतर, त्यांच्या जागी औपपत्तिक भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून त्याची नेमणूक झाली. १९४० पासून तो डब्लिन विद्यापीठात अध्यापन व संशोधन करू लागला.

आयर्लंन्डचे राष्ट्रीय विद्यापीठ आणि डब्लिन विद्यापीठ या दोन्ही विद्यापीठानी त्यास १९४० मध्ये माननीय डी. अेस्‌सी. पदवी दिली आहे. लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्याची १९४९ मध्ये आपला परदेशस्थ सभासद म्हणून निवड केली.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

श्रॉडिंजर आणि डिरॅक यानी केलेल्या संशोधनाचे स्वरूप इतके गणिती आहे की त्यांच्या संशोधनाच्या तपशिलात शिरणे या ठिकाणी तरी शक्य होणार नाही. तेव्हा त्यांच्या संशोधनाची सर्वसाधारण कल्पना यावी व त्यांच्यामुळे प्रचारात आलेल्या नवीन अण्विक उपपत्तींची ओळख करून द्यावी या उद्देशाने पुढील मजकूर लिहिला आहे.

वजनदार अणुगर्भाभोवती निरनिराळया कक्षांमध्ये एक ऋणकण फिरत असतो हे हायड्रोजन अणूचे स्वरूप आपल्याला कल्पनेने सहज नजरेसमोर आणता येते. न्यूटनच्या गतिशास्त्राच्या फक्त दोन कल्पनांच्या बाबतीत बोरचा अणू आपले समाधान करू शकत नाही. (१) ऋणकण काही ठराविक कक्षामध्येच फिरतो. (२) तो जोपर्यंत एखाद्या स्थिर कक्षेत फिरत असतो तोपर्यन्त अणूमधून विकिरण निर्मिती होत नाही. एका स्थिर कक्षेतून दुसऱ्या स्थिर कक्षेत ऋणकणाने उडी घेतली तरच विकिरण-उत्सर्जन किंवा विकिरण शोषण होते. शिवाय उत्सर्जन झालेल्या किंवा शोषण झालेल्या विकिरणांची वारंवारता, ऋणकण ज्या कक्षेतून उडी घेतो व ज्या कक्षेत तो उडी घेतो, त्या कक्षांच्या वारंवारतेइतकी नसते. एका स्थिर कक्षेत प्रदक्षिणा करीत असलेला ऋणकण एकाएकी दुसऱ्या स्थिर कक्षेत कसा येतो याचे स्पष्टीकरण बोरच्या उपपत्तीत मिळत नाही, किंवा ते स्पष्टीकरण देण्याचा प्रयत्नही बोरने केलेला नाही. तसेच ऋणकणांच्या प्रदक्षिणा ज्या क्वांटम स्थितीला धरून असतात, त्या क्वांटम स्थितीचेही स्पष्टीकरण त्या उपपत्तीत नाही. उदाहरणार्थ कोनीय प्रवेगाला काही ठराविकच मूल्य का असावीत याचे स्पष्टीकरण बोर उपपत्तीत नाही. वर्णपटाच्या अभ्यासातून मिळवलेल्या खूपशा माहितीची चित्रामध्ये किंवा प्रतिकृतीमध्ये मांडणी असे बोरच्या अणूचे स्वरूप आहे. बोरच्या उपपत्तीत काही फरक करून—वर्तुळाकार प्रदक्षिणा मार्गाऐवजी एलिप्टिकल किंवा लंबवर्तुळाकार प्रदक्षिणामार्ग कल्पून व त्या मार्गाच्या प्रमुख अक्षाच्या त्याच्या दुय्यम अक्षाशी असणाऱ्या प्रमाणाच्या मूल्यावर, क्वांटम उपपत्तीच्या दृष्टिकोनातून काही बंधने घालून, बोरची उपपत्ती मांडल्यानंतर मिळालेल्या जास्त माहितीचे स्पष्टीकरण देता येते ही एक विशेष नमूद करण्यासारखी गोष्ट आहे.

बोरच्या अणूविषयक कल्पना आणि अणूतील सत्यस्थिती यात किती एकरूपता आहे हा एक वेगळाच प्रश्न आहे. पुष्कळ बाबतीत बोरने मांडलेले अणूचे चित्र, एक वेगळा, नाविन्यपूर्ण प्रकारचा, उत्तम आलेख असले तरी सत्य स्थितीचे ते निदर्शक आहे असे न वाटण्याइतके ते जटिल आहे. अणूच्या अंतर्भागात काय चालू असते याविषयीच्या आपल्या कल्पना निरीक्षणात मिळालेल्या माहितीवरून काढलेल्या निष्कर्षावर आधारलेल्या असायला पाहिजेत. नेहमीच्या परिचयाच्या साध्या कल्पनांच्या बुरख्याखाली या कल्पना आपल्या डोळ्यासमोर येतात. परिचयाच्या कल्पना दूर करण्याचे आणि वस्तुमात्राच्या स्वरूपाविषयीच्या पूर्वीच्या कल्पनाहून अगदी भिन्न प्रकारची ‘ वस्तुमात्र तरंग ’ कल्पना मांडण्याचे धैर्य डी

ब्रॉलीने दाखवले. डी ब्रॉलीच्या त्या कल्पनेचा पाठपुरावा करून, त्या कल्पनेचे परिणाम-स्वरूप विशद करण्याचे कार्य श्रॉडिजरने केले आहे.

तरंग निर्मिती होण्यासाठी कशामध्ये तरी आवर्तनीय फरकांची मालिका घडून यायला पाहिजे. हे कशामध्ये तरी म्हणजे ताणलेल्या तारेतल्या, स्पंदन पावणाऱ्या बिंदुमध्ये नाही. तर हवेच्या स्तंभातल्या बिंदूमध्ये किंवा वैद्युती क्षेत्रातील एका बिंदूपाशी असणाऱ्या वैद्युती तीव्रतेमध्ये म्हणजे ‘कशामध्ये तरी’ असे समजायला हरकत नाही. शिवाय त्या बिंदूमध्ये किंवा बिंदूपाशी, तो बिंदू ज्या माध्यमात असेल त्या माध्यमात झालेल्या संवेदना जवळच्या इतर बिंदूना म्हणजे तारेतल्या, हवेतल्या किंवा ईथरमधल्या जवळच्या बिंदूना पोचली पाहिजे. डी ब्रॉलीच्या वस्तुमात्र तरंग उपपत्तीमध्ये एक प्रश्न मात्र स्वाभाविकच आपल्यापुढे उभा राहातो. ज्यांचे स्पंदन होते ते काय आहे? या प्रश्नाचे उत्तर देता येत नाही आणि ते देता आलेच पाहिजे असे नाही, असे श्रॉडिजरने दाखवले. डी ब्रॉलीची वस्तुमात्र तरंग उपपत्ती कानी आल्यानंतर १९२५ च्या सुमारास श्रॉडिजरने त्या उपपत्तीचा अभ्यास करायला सुरवात केली. स्पंदनासाठी श्रॉडिजरने ψ (प्साय) हे ग्रीक अक्षर वापरले, व स्पंदन पावणाऱ्या तारेतील बिंदूचे प्रतिष्ठापन किंवा स्पंदन पावणाऱ्या हवेच्या स्तंभाचा दाब किंवा स्पंदन पावणाऱ्या वैद्युती क्षेत्रातील वैद्युती तीव्रता यातले फरक दाखवण्यासाठी जशी डिफरेन्शियल समीकरणे आहेत, तशाच प्रकारची डिफरेन्शियल समीकरणे त्याने ψ च्या स्पंदनाने निर्माण होणारी तरंगगती दाखवण्यासाठी मांडली. वस्तुमात्र तरंगांची तरंगलांबी आणि संबंधित कणाचा प्रवेश यांचा संबंध जोडणारे डी ब्रॉलीचे समीकरण, समीकरण मांडणीच्या बाबतीत श्रॉडिजरने अत्यंत परिणामकारकरीत्या वापरले.

वस्तुमात्रविषयीची तरंग उपपत्ती अणुरचनेचे प्रश्न सोडवण्यासाठी डी ब्रॉलीने प्रथमतः यशस्वीरीत्या वापरली. पण त्याच्याहीपेक्षा जास्त काटेकोरपणे श्रॉडिजरने ती उपपत्ती अणुरचनेचा विचार करण्यासाठी वापरली. अणुरचनेविषयी नवीन माहिती उपलब्ध झाली की त्या माहितीच्या स्पष्टीकरणासाठी बोरच्या उपपत्तीत वारंवार फेरबदल करणे भाग पडले. परंतु डी ब्रॉली–श्रॉडिजर उपपत्ती मांडल्यानंतर अणुरचनेविषयी काय माहिती मिळावी याचा अंदाज ती उपपत्ती मांडता-मांडताच समजून आला.

अणुगर्भाभोवती प्रदक्षिणा करणाऱ्या बोरच्या ऋणकणाचे विस्थापन डी ब्रॉलीच्या वस्तुमात्र तरंगानी कसे केले आहे याची कल्पना येण्यासाठी, अंत नाही

असा तरंग अणुगर्भाभोवती प्रदक्षिणा करीत आहे व या तरंगाची तरंगलांबी प्रदक्षिणा मार्गाच्या लांबीचा साधा अपूर्णांक आहे अशी कल्पना करा. अशा प्रकारचा तरंग म्हणजे बोर उपपत्तीस ज्याला ऋणकणाचा अणुगर्भाभोवतालचा स्थिर प्रदक्षिणा मार्ग असे म्हटले आहे. तो मार्ग होय, व मान्यता देण्यासारखी अणूची ही एकच स्थिती आहे. तरंग उपपत्तीमध्ये मान्य व अमान्य स्थिती असा फरक राहातच नाहीत कारण तरंग अध्यारोपित करता येतात. एका प्रदक्षिणा मार्गातून दुसऱ्या प्रदक्षिणा मार्गात ऋणकणाने उडी घेतली या सारखी स्थित्यंतरे कल्पण्याची जरुरी नाही. आणि तरी सुद्धा उत्सर्जन व शोषण वारंवारतांचे स्पष्टीकरण देता येते. ते देण्यासाठी कोणत्याही प्रकारची शाब्दिक कसरत करावी लागत नाही. बोरच्या उपपत्तीत उत्सर्जन व शोषण वारंवारतांचा प्रदक्षिणा मार्गाच्या वारं–वारतेशी काही संबंध नव्हता. तरंग उपपत्तीत प्रत्येक उत्सर्जन व शोषण वारंवारता दोन तरंगांच्या वारंवारतेतील फरकाएवढी असते. ज्याची वारंवारता अशा प्रकारे दोन तरंगाच्या वारंवारतेतील फरकाइतकी आहे अशा प्रकाश तरंगाचे उत्सर्जन किंवा शोषण होते, व हे होत असताना दोन तरंगांच्या विस्तीर्णतेत हळूहळू फरक होत असतो. एकाची विस्तीर्णता वाढत असते व त्यामुळे दुसऱ्या तरंगाची विस्तीर्णता कमी होत असते. अशा प्रकारे विचार केल्यास वर्णपट रेषांच्या प्रखरतेचा अचूक अंदाज करता येतो. विशेषत: वर्णपटातील नैसर्गिक रेषांचे, बाह्य वैद्युती क्षेत्रामुळे अनेक घटक रेषामध्ये रुपांतर होते, त्यावेळी अशा रेषांच्या प्रखरतेचा अचूक अंदाज करता येतो. (चुंबकीय क्षेत्राच्या वर्णपटरेषावरील परिणामाचे समाधानकारक स्पष्टीकरण, डिरॅकने आपले तरंग-समीकरण मांडण्याआधी देता येत नव्हते. डिरॅकच्या या समीकरणात ऋणकणाच्या चुंबकीय गुणधर्माचाही विचार केला आहे.)

पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर श्रॉडिजरने दिलेले नोबेल व्याख्यान जर्मन भाषेत आहे. प्रकाशाचे परावर्तन, अपवर्तन या सारख्या मोठ्या प्रमाणावर घडून येणाऱ्या प्रकाशघटनांचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी भौमितीय प्रकाशशास्त्रात नेहमी वापरण्यात येणारी प्रकाश किरणाची कल्पना उपयोगी पडते व तीहून वेगळी अशी एखादी नवीन कल्पना वापरावी लागत नाही. परंतु प्रकाशाचे वक्रीभवन प्रकाशाचा प्रतिरोध यासारख्या घटनांचा स्पष्टीकरणासाठी प्रकाशकिरणाऐवजी प्रकाश तरंग वापरावे लागतात. त्याप्रमाणे नेहमीच्या व्यवहारात जुने यंत्रशास्त्र उपयोगी पडत असले तरी सूक्ष्म यांत्रिकी प्रणालींचा विचार करताना नवे तरंग यंत्रशास्त्र वापरावे लागते असे श्रॉडिजरने त्या व्याख्यानात म्हटले आहे. श्रॉडि–जरच्या नोबेल व्याख्यानातील काही भागाचा अनुवाद पुढे दिला आहे.

दूरदर्शक किंवा दुर्बिण यासारख्या प्रकाशीय उपकरणामधून प्रकाश किरण जातो त्यावेळी अपवर्तन घडवून आणणाऱ्या किंवा परावर्तन करणाऱ्या पृष्ठभागाशी, तो किरण जाण्याच्या दिशेत बदल घडून येतो. प्रकाश कोणत्या मार्गाने जात आहे हे सांगण्यात काही अडचण पडत नाही. फक्त अपवर्तनाचा नियम आणि परावर्तनाचा नियम हे दोन नियम माहित असले म्हणजे झाले.

सर्वसाधारण दृष्टिकोनातून विचार करुन फर्माट या शास्त्रज्ञाने प्रकाश-किरणाच्या मार्गाचे थोडक्यात वर्णन दिले आहे. प्रकाश भिन्न भिन्न माध्यमातून भिन्न भिन्न वेगाने जातो; आणि आपल्या नियोजित स्थानी लवकरात लवकर पोचावे अशा तऱ्हेच्या मार्गाचे प्रकाशकिरण अवलंबन करीत असतो. प्रकाश–किरणाने अवलंबन केलेल्या मार्गाहून जरा भिन्न मार्गाचे अवलंबन केले तर नियोजित स्थानी पोचायला उशीर होणार, अशा शब्दात फर्माटने प्रकाशकिरणा-विषयीचा आपला दृष्टीकोन मांडला आहे. या दृष्टिकोनाला फर्माटचे अल्पतम काळाचे तत्व म्हणता येईल.

उदाहरणादाखल आपण पृथ्वीचे वातावरण विचारात घेऊ. बाह्य विश्वातून प्रकाश किरणाने पृथ्वीच्या वातावरणात प्रवेश केल्यावर, तो किरण जितका दूरवर जातो तितका त्याचा वेग कमी होत जातो, कारण वातावरणाच्या वरच्या थराची घनता, खालील थराच्या घनतेहून कमी असते. अशा रीतीने प्रकाशाच्या वेगात होणारे फरक अत्यंत सूक्ष्म असले तरी फर्माटचे तत्त्व या ठिकाणी लागू केल्यास, प्रकाशकिरण पृथ्वीकडे वळावा असे अनुमान निघते. तसा तो वळल्यास, तो वातावरणाच्या वरच्या थरात म्हणजे जेथे त्याचा वेग जास्त असतो त्या थरात जास्त वेळ राहातो आणि खालच्या थरात आल्यानंतर तो नियोजित स्थानी सरळ मार्गाने लवकरात लवकर पोचतो. सूर्य ज्यावेळी क्षितिजावर अगदी खाली असतो (उगवायच्या किंवा मावळायच्या वेळी) तेव्हा तो वर्तुळाकार दिसण्याऐवजी, खालच्या बाजूला थोडासा चेपलेला दिसतो हे आपल्या कदाचित लक्षात आले असेल. सूर्यकिरणांनी वातावरणात प्रवेश केल्यानंतर, ते पृथ्वीकडे वळत असल्याने हा आभास निर्माण होतो.

तरंग उपपत्तीच्या दृष्टिकोनातून विचार केल्यास, ‘ प्रकाश किरण ’ हा शब्द निव्वळ काल्पनिक आहे. प्रकाशकिरण म्हणजे कोणत्याही प्रकारच्या प्रकाशकणांनी अनुसरलेला तो मार्ग नव्हे, तर प्रकाशकिरण एक गणिती साधन आहे. तरंग पृष्ठ-भागांचे ऑर्थोगॉनल ट्रॅजेक्टरी किंवा काल्पनिक रेषा असून, तरंग पृष्ठभाग पुढे

जात असता, तरंग पृष्ठभागाशी काटकोन करणारी दिशा, प्रकाशकिरणाच्या प्रत्येक बिंदूने दाखवलेली असते. फर्माटचे तत्त्व तरंग पृष्ठभागांच्या संज्ञा वापरून न मांडता, अशा प्रकारच्या गणिती काल्पनिक रेषांच्या शब्दात मांडले जाते ही एक आश्चर्य करण्यासारखी गोष्ट आहे. त्यामुळे फर्माट तत्त्व गणिती कुतूहलाची गोष्ट आहे असे म्हणता येते. परंतु तरंग उपपत्तीच्या दृष्टिकोनातून विचार केल्यास, फर्माटचे तत्त्व आपण समजू शकतो. प्रकाशकिरण वळण्याचा तरंग उपपत्तीच्या दृष्टिकोनातून विचार केल्यास तरंग पृष्ठभागाचे जवळ जवळचे विभाग वेगळ्याच वेगाने पुढे जाऊ लागल्यास, तरंग पृष्ठभागाचे एका वेगळ्या दिशेला वळणे म्हणजे प्रकाशकिरण वळण्याची घटना आहे असे म्हणता येते.

— — —

अशा रीतीने फर्माटचे तत्त्व तरंग उपपत्तीचे महत्त्वाचे अंग आहे असे दिसते. सूर्याभोवतालच्या प्रदक्षिणा मार्गातून ग्रहाचे गमन किंवा पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षण क्षेत्रात फेकलेल्या दगडाची गती यासारख्या बलक्षेत्रामध्ये बिंदूभारांच्या प्रत्यक्ष गतीला सुद्धा फर्माट तत्त्वासारखे सर्वसाधारण तत्त्व लावता येते हा हॅमिल्टनचा शोध खरोखरच आश्चर्यजनक आहे. कमीत कमी वेळात आक्रमकता येईल अशा मार्गाने बिंदुभार मार्ग क्रमत नाही, हे खरे आहे. परंतु तरीही फर्माटचे तत्त्व आणि हॅमिल्टनचे तत्त्व यात बरेच साम्य आहे व ते साम्य आपल्याला बरेच गोंधळवून टाकते. असे वाटते की निसर्गाने एकाच नियमाचा वेगवेगळ्या तऱ्हेने दोनदा उच्चार केला आहे. सहज समजता येण्यासारख्या तरंगगतीच्या शब्दात तो नियम मांडला आहे, तर दुसऱ्या वेळेला बिंदुभारांच्या गतीच्या संज्ञा वापरून तो मांडला आहे. बिंदुभाराना काही तरी तरंगगती असते असे मानल्याखेरीज बिंदुभारांची गती चटकन समजत नाही. सकृत्‌दर्शनी बिंदुभाराना तरंगगती असते असे मानण्याचा प्रश्नच उद्‌भवत नाही, कारण ज्या बिंदुभारांच्या बाबतीत यंत्रशास्त्राचे नियम लावता येतात असे सिद्ध झाले ते बिंदुभार म्हणजे ग्रहासारख्या डोळ्याना सहज दिसणाऱ्या मोठमोठ्या वस्तू असून, त्याना तरंगगती असते हा विचारच त्यांच्या बाबतीत उद्‌भवत नाही.

वस्तूमात्रांच्या घडणीचे सर्वात सूक्ष्म एकक म्हणजे अणू. या अणूना आपण खऱ्या अर्थाने बिंदुभार म्हणू शकू. त्या अणूचे अस्तित्व त्यावेळी तरीं केवळ औपपत्तिक होते. किरणोत्सर्गाच्या शोधाच्या बाबतीत मात्र, मापन पद्धतीत सारखी

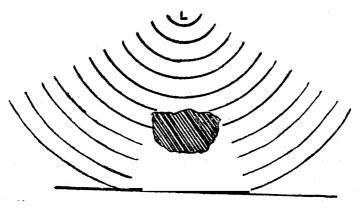
सुधारणा होत गेल्याने, उत्सर्जित कणांच्या गुणधर्मांचा तपशीलात अभ्यास करता आला. सध्या सी. टी. आर्. विल्सनने शोधून काढलेली पद्धत वापरून, आपण उत्सर्जित कणांच्या मार्गाचा फोटोग्राफ घेऊ शकतो व त्यानी अवलंबलेल्या मार्गाचे अचूक मापन करू शकतो. केवळ मापनाच्या दृष्टीने विचार केल्यास, ग्रहासारख्या मोठ्या वस्तूंच्या बाबतीत जे यंत्रशास्त्रीय नियम लागू पडतात तेच नियम अशा उत्सर्जित कणांना लावता येतात असे दिसून आले आहे. परंतु इतर बाबतीत बोलायचे असल्यास अणू ही एक अत्यंत जटिल प्रणाली असल्याचे दिसून आले आहे. घटककणांच्या एकत्र येण्याने तयार झालेल्या अणूचे चित्र आपण अंतश्चक्षुसमोर आणू लागलो. सूर्याभोवती फिरणारे ग्रह व अणूचे आपल्या मनश्चक्षुसमोर असलेले काल्पनिक चित्र यात बरेच साम्य आहे. ग्रहासारख्या मोठ्या वस्तूंच्या बाबतीत जे नियम लागू पडतात, तेच नियम अणूना लावण्याचा स्वाभाविकच प्रयत्न झाला. हॅमिल्टनच्या यंत्रशास्त्राच्या आधारे गणित केल्यानंतर हॅमिल्टन तत्त्वाचा शोध लागला. तेच हॅमिल्टन तत्त्व अणूमध्ये घडून येणाऱ्या प्रक्रियाना लावण्याचा प्रयत्न झाला. परंतु हॅमिल्टन तत्त्व आणि फर्माट तत्त्व यात साम्य आहे ही गोष्टच शास्त्रज्ञ जणू काय विसरून गेले होते.

फर्माट तत्त्वानुरोधाने विचार करीत गेल्यास तरंग प्रक्रियांचा तपशिलवार अभ्यास करण्याची जरूरी नाही असे नाही. तरंग प्रक्रियांचा तपशिलवार अभ्यास केल्यानंतरच प्रकाशाचे अपवर्तन आणि प्रकाशाचा प्रतिरोध या घटना समजतात व त्याचे स्पष्टीकरण देता येते. कारण तरंग शेवटी ज्या बिंदूपर्यन्त जाऊन पोचतो, त्या बिंदूशी या घटनांचा संबंध आहे एवढेच नाही तर एका विविक्षित क्षणी तरंगाचा खळगा किंवा तरंगाचे शिखर त्या बिंदूशी आहे की नाही यावर अपवर्तन आणि प्रतिरोध या घटना अवलंबून असतात. जुन्या ओबड धोबड प्रायोगिक पद्धती मुळे अपवर्तन व प्रतिरोध या घटना घडून येतात हेच समजून आले नव्हते. परंतु या घटना घडून येतात हे समजून आल्यानंतर आणि त्या घटनांचे तरंग उपपत्तीच्या आधारे स्पष्टीकरण दिल्यानंतर प्रकाशाचे तरंग - स्वरूप स्पष्ट करणाऱ्या प्रयोगांची आखणी करणे शक्य झाले.

हे माझे म्हणणे दोन उदाहरणे देऊन स्पष्ट करणार आहे. त्यासाठी दूरदर्शक किंवा सूक्ष्मदर्शक यासारखे उपकरण मी विचारात घेणार आहे. या उपकरणांचा उद्देश वस्तूंची सुस्पष्ट प्रतिमा मिळवणे हा आहे. वस्तूच्या एखाद्या बिंदूपासून निघालेले सर्व प्रकाशकिरण उपकरणात जाऊन बाहेर आल्यानंतर पुन्हा एकदा

बिंदूपाशी आणता आले तर बिंदुप्रतिमा तयार होऊन वस्तूची सुस्पष्ट प्रतिमा मिळते. अशा प्रकारची सुस्पष्ट प्रतिमा मिळवण्यातील प्रमुख अडचणी भौमितिक प्रकाशशास्त्रातल्या आहेत. पण अशा प्रकारच्या अडचणी कितीही असल्या तरी त्या फारशा प्रभावी नाहीत. कितीही उत्तम प्रकारे तयार केलेले उपकरण वापरले तरी वस्तूची प्रतिमा फर्माटच्या तत्त्वाप्रमाणे म्हणजे वस्तूपासून निघणारा प्रत्येक किरण फर्माट तत्त्वाचे पालन करीत आहे असे धरून, अपेक्षिलेल्या वस्तूच्या प्रतिमे-सारखी वस्तूची प्रत्यक्ष प्रतिमा असत नाही. बिंदु-वस्तूपासून निघणारा आणि उपकरणातून बाहेर आलेला प्रकाश उपकरणामागच्या बिंदुपाशी एकत्र येत नाही तर तो लहान वर्तुळाकार भागात पसरतो. अशा या वर्तुळाकार प्रकाशाला अप-वर्तन आकृतीबंध म्हणतात. या अपवर्तनाचे कारण थोडक्यात पुढे दिल्याप्रमाणे सांगता येते. बिंदुवस्तूपासून निघालेला गोलाकार तरंग सर्वच्या सर्व उपकरणातून जाऊ शकत नाही. भिंगाच्या व शक्य असल्यास पटलाच्या कडा गोलाकार तरंगाच्या काही भागाला पुढे जाऊ देत नाही आणि त्यामुळे तरंगाचा उपकरणातून जाणारा भाग एका बिंदूपाशी येत नाही आणि त्यामुळे वस्तूची सुस्पष्ट प्रतिमा मिळण्या-ऐवजी अस्पष्ट प्रतिमा मिळते. प्रतिमेत येणाऱ्या अस्पष्टपणाचा प्रकाशाच्या तरंग-लांबीशी काही संबंध नाही. त्यामुळे तात्त्विक दृष्टीने विचार करता, प्रतिमेतला अस्पष्टपणा अटळ आहे. प्रतिमेच्या बाबतीत आढळून येणारे इतर दोष टाळता आले तरी प्रतिमेतल्या या अस्पष्टपणामुळे आधुनिक सूक्ष्मदर्शकाच्या उपयुक्ततेवर काही मर्यादा पडतात. जर वस्तूचा आकार, प्रकाशाच्या तरंगलांबीशी तुलना करता येण्यासारखा सूक्ष्म असला, तर वस्तू व तिची प्रतिमा यात फारच थोडे किंवा जवळ जवळ नाहीच इतके अत्यल्प साम्य असते.

आता दिले त्याहून जास्त साधे उदाहरण मी आता देणार आहे. प्रकाशनिर्मिती एका बिंदूपासून होत असेल, तर अशा प्रकाशात धरलेल्या अपारदर्शक वस्तूची पडद्यावर पडणारी छाया पहा. पडद्यावरील छायेचा आकार ठरवण्यासाठी आपल्याला प्रत्येक प्रकाशकिरणाच्या मार्गाचा अभ्यास केला पाहिजे व कोणत्या प्रकाशकिरणांच्या मार्गात अपारदर्शक वस्तू आल्याने ते पडद्यापर्यन्त पोचू शकत नाहीत हे पाहायला पाहिजे. जे प्रकाशकिरण वस्तूच्या कडाना स्पर्श करून पुढे पडद्याकडे जातात त्या किरणामुळे पडद्यावरील छायेच्या कडा तयार होतात. प्रकाश एका बिंदूपासून निघत असला व त्याच्या मार्गात सुस्पष्ट कडा असणारी वस्तू ठेवली तरी अनुभवाने असे दिसून येते की छायेची कडा खरोखरच सुस्पष्ट दिसत नाही. मागील उदा-

हरणाच्या बाबतीत जे स्पष्टीकरण दिले तेच स्पष्टीकरण याही बाबतीत देता येते. तरंग आघाडीच्या मार्गामध्ये ठेवलेल्या वस्तूमुळे दोन भाग होतात.
(सोबतची आकृती पहा.)

आकृती–३३ श्रॉडिंजरची आकृती–५
(मार्गात आलेल्या अडथळ्यामुळे तरंग आघाडी भंग पावते)

तरंग आघाडीच्या सलगपणाला पोचलेल्या या धक्क्यामुळे छायेच्या कडामध्ये सुस्पष्टपणा राहात नाही. जर प्रकाश किरणांचा विचार केला, व एकमेकाला प्रतिरोध न करता प्रत्येक किरण स्वतंत्रपणे पुढे जात असतो असे मानले तर छायेच्या कडातील अस्पष्टतेचे स्पष्टीकरण देता येत नाही.

या घटनेला सुद्धा अपवर्तन असे म्हणतात. मोठ्या वस्तूंच्या बाबतीत अपवर्तन फारसे दिसून येत नाही. परंतु छाया देणारी वस्तू लहान असेल किंवा त्या वस्तूंचे एखादे परिमाण अत्यंत सूक्ष्म असेल, तर अपवर्तन घटना अशा वस्तूच्या बाबतीत दिसून येते, म्हणजे अशा वस्तूची खरी छाया मिळत नाही आणि विशेषेकरून असे लक्षात येते की अशी सूक्ष्म वस्तू स्वयंप्रकाशित आणि सर्व दिशाना प्रकाश धाडणारी आहे असे वाटते. वस्तूवर पडणाऱ्या प्रकाशकिरणांच्या दिशेशी लहान कोन करणाऱ्या दिशानी प्रकाशकिरण जास्त करून जातात. अंधाऱ्या खोलीत प्रवेश करणाऱ्या उन्हाच्या कवडशात सूक्ष्म धुळीकण दिसतात किंवा

सूर्याच्या उन्हात उभे राहिलेल्या माणसाच्या डोक्यावरील केस चमकतात याचे कारण प्रकाशाचे अपवर्तन आहे. धूर व ढग आपण पाहू शकतो याचेही कारण प्रकाशाचे अपवर्तन होय. धूळीकणात, चकाकणाऱ्या केसात, धूरात किंवा ढगात प्रकाशाची निर्मिती होत नसते. तो प्रकाश या वस्तूजवळच्या अवकाशातून वस्तूवर पडत असतो, आणि तेथून अपवर्तनामुळे सर्व दिशाना जात असतो. प्रकाशाच्या मार्गात येणारी वस्तू कितीही सूक्ष्म असली तरी त्या वस्तूमुळे प्रकाशाच्या तरंग आघाडीत होणारी गडबड सर्व दिशांना वाढत जाते. निदान तरंगलांबी-इतक्या अंतरापर्यन्त किंवा काही तरंगलांबीच्या अंतरापर्यंत ती गडबड जाऊन पोचते. येथे आपल्याला अपवर्तन घटना आणि तरंगलांबी यामध्ये अगदी जवळचा संबंध असल्याचे दिसून येते. आवाजासारखी दुसरी तरंगप्रणाली विचारात घेतल्यास, अपवर्तन घटना चटकन लक्षात येईल. आवाजाची तरंगलांबी सेन्टीमीटरमध्ये किंवा मीटरमध्ये मोजता येण्याइतकी मोठी असल्याने आवाजाच्या मार्गात काही तरी वस्तू आल्याने, त्या वस्तूची तयार झालेली छाया नगण्य असते आणि अशा वेळी आवाज तरंगांचे अपवर्तन महत्त्वाचे कार्य करते. उंच भिंतीआड उभे राहून माणसाने हाक मारली तर माणूस दिसत नसला तरी ती हाक आपल्याला ऐकू येते; किंवा मोठ्या घराआड वळणावर उभे राहून माणसाने हाक मारल्यास, तो माणूस दिसत नसला तरी त्याचा आवाज कानावर पडतो याचे कारण अपवर्तन घटना हे होय.

आता आपण प्रकाशशास्त्राकडून यंत्रशास्त्राकडे वळू. प्रकाशकिरणांच्या सहाय्याने घटना समजावून घेण्याची जुन्या प्रकाशशास्त्रातील कृती जुन्या यंत्र-शास्त्रातील विचाराशी समतुल्य आहे. तर नव्या यंत्रशास्त्राची प्रकाशाच्या तरंग उपपत्तीशी तुलना करता येण्यासारखी आहे. जुना दृष्टिकोन टाकून, नवींन दृष्टि-कोनाचा स्वीकार केल्याने काय फायदा होतो ते आपण पाहू या. सूक्ष्म वस्तूच्या बाबतीत घडून येणारे अपवर्तन किंवा त्यासारखी घटना आपल्याला नव्या यंत्र-शास्त्राप्रमाणे विचारात घ्यायला हरकत नाही. काही विशिष्ट परिस्थितीमध्ये आतापर्यंत विचारात न घेतलेल्या घटना विशेष करून घडून येतात आणि यंत्र-शास्त्रीय परिस्थिती त्या घटनावरच अवलंबून असते अशी कल्पना करणे फारसे अवघड नाही. त्यामुळे जुन्या यंत्रशास्त्राच्या आधारे न सुटणारा प्रश्न आपल्यापुढे उभा राहातो. शिवाय सर्व यांत्रिकी प्रणालींचा विस्तार केल्यास तो विस्तार वस्तू-मात्र तरंगाच्या तरंगलांबीशी तुलना करता येण्यासारखा आहे. प्रकाशशास्त्रात प्रकाशतरंगाचे जे कार्य आहे तेच कार्य ‘ वस्तूमात्र तरंग ’ यंत्रशास्त्रात करू शकतात.

या कारणामुळे अणूसारख्या सूक्ष्म प्रणालींमध्ये जुन्या कल्पना व जुनी आधार-तत्त्वे सोडून द्यावी लागतात. मोठ्या यंत्रशास्त्रीय प्रणालींच्या बाबतीत जुनी आधार-

तत्त्वे अजूनही चालू शकतात व ती जवळ जवळ बरोबर असली तरी प्रकाशाची तरंगलांबी किंवा तीहून कमी लांबी अशा परिमाणात घडून येणाऱ्या सूक्ष्म अदलाबदलींच्या बाबतीत जुनी आधारतत्त्वे वापरणे योग्य होणार नाही.

तेव्हा आपल्या नवीन आधारतत्त्वाना सुरवात करायची ती या मुद्द्यापासून की अणूचा व्यास आणि वस्तूमात्राची औपपत्तिक तरंगलांबी यांची परिमाणे जवळ जवळ एकच आहेत. येथे एक प्रश्न आपल्या मनात आल्याशिवाय राहणार नाही. वस्तूमात्राच्या रचनेचा विचार करताना, प्रकाशाच्या तरंगलांबीइतक्या परिमाणाचा विचार यावेळी आपल्यासमोर आला आहे हा केवळ एक योगायोग आहे का ? तो योगायोग आहे असे तरी आपल्याला कुठे माहीत आहे ! कारण वस्तूमात्र तरंग ही कल्पना काही तरी नवीन आहे. तात्त्विक दृष्टया विचार करता, वस्तूमात्र तरंग असायला पाहिजेत पण ते तरंग इतरत्र कोठेही असल्याचे माहीत नाही. किंवा वस्तूमात्र तरंगाच्या अस्तितवाचे आधारतत्त्व मांडणे खरोखरच अवश्य होते का?

आता वस्तूमात्र तरंगलांबी आणि अणूचा व्यास यांची परिमाणे एकमेकासारखी असणे हा केवळ योगायोग नाही. कोणत्याही विशेष आधारतत्त्वाचा अवलंब न करता, ती परिमाणे तात्त्विक विचार मंथनातून समजून येतात. शिवाय त्याच्या जोडीला पुढील विशेष परिस्थिती आहे. अल्फा किरणाच्या विकरणाचा, रदरफोर्ड आणि चॅडविक यानी केलेल्या अभ्यासामुळे अणूच्यामानाने अणुगर्भ अत्यंत सूक्ष्म आहे याचा प्रायोगिक पुरावा मिळाला आहे. त्यामुळे अणुगर्भ आकर्षणाचे बिंदुकेंद्र आहे असे समजायला हरकत नाही. ऋणकणांच्या ऐवजी आपण औपपत्तिक वस्तूमात्र तरंग विचारात घेत आहो. या वस्तूमात्र तरंगाची तरंगलांबी काय असावी हा अनुत्तरित प्रश्न आहे. त्या लांबीबद्दल आपल्याजवळ काहीही माहिती नाही. त्यामुळे आम्ही मांडलेल्या गणितात *4* हे अक्षर वापरलेले आहे. ज्याचे मूल्य अद्यापि ठरलेले नाही असा *4* हा एक अंक आहे. त्याचे मूल्य माहीत नसले तरी सूक्ष्म धूलीकणाने प्रकाशतरंगाचे अपवर्तन होते. त्यासारखे अणुगर्भामुळे वस्तूमात्रतरंगांचे एक प्रकारचे अपवर्तन होते हे गणिताने काढण्यात काहीही अडचण येत नाही. धूलीकणांच्या बाबतीत ज्याप्रमाणे प्रकाश तरंगातील गडबड पसरत जाण्याचे प्रमाण तरंगलांबीवर अवलंबून असते, त्याप्रमाणे अणुगर्भाभोवतालच्या अवकाशात वस्तूमात्र तरंगात होणारी गडबड वस्तूमात्र तरंगलांबीवर अवलंबून असते व त्या गडबडीचे परिमाणही तरंगलांबीच्याच श्रेणीचे असते हा प्रश्न आम्ही तसाच अनुत्तरित ठेवला आहे.

आता सर्वात महत्त्वाची गोष्ट येते. अणू हेच वस्तूमात्र तरंग गडबडीचे क्षेत्र म्हणजे अपवर्तन वलय होय असे आपण मानतो. अणू हा खरोखर दुसरे तिसरे काही नसून, ऋणकण तरंगांची अपवर्तन घटना असून ती घटना अणुगर्भाने नोंदवलेली आहे असे आपण म्हणतो. त्यामुळे अणूचे आकारमान आणि तरंगलांबी जवळ जवळ एकच परिमाणाची आहेत हा केवळ योगायोग नाही तर स्वयंसिद्ध गोष्ट आहे. आकड्यांच्या भाषेत बोलायचे झाल्यास, अणूचे आकारमान आणि वस्तूमात्र तरंगलांबी यापैकी एकही गोष्ट आपल्याला माहीत नाही, कारण अजूनही आपल्या गणितात मूल्य माहित नसलेल्या a या आकड्याचा समावेश केलेला आहे. a चे मूल्य ठरविण्याचे दोन मार्ग आहेत व ते दोन्ही मार्ग एकमेकावर अवलंबून आहेत. उत्सर्जित वर्णपटरेषांचे आपण अचूक मापन करू शकतो. त्या वर्णपट रेषांना कारणीभूत होणाऱ्या अणूमध्ये घडणाऱ्या घटनांची माहिती अगदी अचूक मिळते. अशा प्रकारचे मूल्य आपण a ला देऊ शकतो, किंवा a ला आपण असे मूल्य देऊ शकतो की ते मूल्य वापरल्यावर अपवर्तन वलयाचा आकार अणूच्या आकाराइतका येतो. अणूचा आकार किती आहे हे आपल्याला इतर प्रयोगातून समजले आहेच. a चे मूल्य ठरविण्याच्या या दोन पद्धतीपैकी दुसरी पद्धत कमी अचूक आहे. कारण अणूचा आकार म्हणजे काय या विषयीची कल्पना अद्यापी निश्चित नाही. a चे मूल्य ठरविण्याच्या या दोन्ही पद्धती एकमेकीशी मिळत्याजुळत्या आहेत. a ला काही तरी भौतिकी परिमाण आहे हे ही आपण लक्षात घेतले पाहिजे. हे परिमाण, लांबीचे नाही तर कृतीचे म्हणजे ऊर्जा × काळ यांचे परिमाण आहे. प्लँकचा सार्वत्रिक कृती क्वांटमच्या मूल्याइतके, a चे भौतिकी परिमाण आहे. असे समजणे हे यापुढचे सोपे कार्य आहे. उष्णता विकिरणांच्या नियमावरून h चे (प्लँकच्या स्थिरांकाचे) मूल्य अचूक काढता येते. हे केल्यानंतर आपण a चे मूल्य काढण्याच्या पहिल्या पद्धतीकडे वळतो, व ती पद्धत वापरून a चे मूल्य काढतो. दोन्ही पद्धतीनी a चे मूल्य एकच येते.

अशा रीतीने या नव्या उपपत्तीत आधारतत्त्वांची संख्या अत्यंत कमी आहे. या उपपत्तीत स्वेच्छेने ठरवलेला एकच स्थिरांक आहे. अपवर्तन वलयाचे परिमाण अणूच्या आकाराइतके येण्यासाठी व आयनीकरण कार्य किंवा प्रकाशउत्सर्जन यासारख्या अणूमध्ये घडून येणाऱ्या घटनावर अवलंबून असणाऱ्या प्रकारांचे अचूक मापन करण्यासाठी, जुन्या क्वांटम उपपत्तीच्या आधारे काढलेले एक गणिती मूल्य या स्थिरांकाला द्यावे लागते.

तरंग यंत्रशास्त्रावरचा आपला पहिला संशोधन निबंध श्रॉडिंजरने १९२६ साली प्रसिद्ध केला. त्यावेळी इंग्लंडच्या केम्ब्रिज विद्यापीठात डिरॅक याच विषया-संबंधी संशोधन करीत होता.

डिरॅक

चरित्र

८ ऑगस्ट १९०२ रोजी पॉल अेड्रियन मॉरिस डिरॅकचा जन्म ब्रिस्टल या इंग्लिश शहरात झाला. मर्चन्ट व्हेचरर्स स्कूलमध्ये त्याचे शालेय शिक्षण झाले. त्याचे विश्वविद्यालयीन शिक्षण ब्रिस्टल विद्यापीठात झाले. इलेक्ट्रिकल इंजिनियरिंग किंवा वैद्युती अभियांत्रिकी शिक्षण घेऊन त्याने १९२१ मध्ये बी. एससी. पदवी संपादन केली. त्यानंतर गणितशास्त्राचा विशेष अभ्यास करण्यासाठी त्याने आणखी दोन वर्षे ब्रिस्टल विद्यापीठात काढली व १९२३ मध्ये केम्ब्रिजच्या सेन्टजॉन कॉलेजमध्ये तो संशोधनासाठी म्हणून दाखल झाला. तीन वर्षे गणितशास्त्रात संशोधन करून १९२६ मध्ये त्याने केम्ब्रिज विद्यापीठाची पीएच. डी. पदवी संपादन केली. एक वर्षानंतर १९२७ मध्ये त्यास सेंट जॉन कॉलेजचा फेलो निवडण्यात आले १९३२ पासून गणितशास्त्राचा लु शियन प्राध्यापक म्हणून तो केम्ब्रिज विद्यापीठात संशोधन व अध्यापन करू लागला.

१९२६ पासून त्याने बराच प्रवास केला असून, कोपनहेगन, गॉटिन्जेन, लेडन विस्कॉन्सिन, मिशिगन आणि प्रिन्सटन या विद्यापीठात गणितशास्त्रांचा विशेष अभ्यास केला आहे. अशा रीतीने त्याने निरनिराळ्या दृष्टिकोनातून गणितशास्त्राचा सखोल अभ्यास केला आहे.

लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास १९३० मध्ये आपला फेलो निवडले. १९३९ मध्ये त्यास त्या सोसायटीचे रॉयल पदक मिळाले. ऐडिनबराच्या रॉयल सोसायटीने त्यास १९३० मध्ये जेम्स स्कॉट पारितोषिक बहाल केले. १९५२ मध्ये जर्मन फिझिकल सोसायटीने त्यास मॅक्स प्लँक पदक देऊन आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

वेव्ह मेकॅनिक्स किंवा तरंग यंत्रशास्त्र या विषयाची सुरवात करून देण्याचा मान डी ब्रॉली या आद्य प्रवर्तकाकडे जातो. डी ब्रॉलीने केलेले संशोधन सापेक्षतावादाला धरून आहे. तर त्या उलट श्रॉडिंजरचे संशोधन असापेक्षातावाद क्षेत्रात पडते. शुद्ध गतिकशास्त्राच्या भाषेत बोलायचे असल्यास ज्या क्षेत्रात श्रॉडिंजरने संशोधन केले, तेथे प्रकाशाच्या गतीच्या मानाने कमी असलेली गती विचारात घ्यावी लागते. सापेक्षतावादाला धरून गणित मांडल्यास, वर्णपटातील हायड्रोजन रेषातील सूक्ष्म फरक समजून येतात,पण काढलेली उत्तरे मात्र बरोबर असत नाहीत असे आपले मत श्रॉडिंजरने व्यक्त केले होते. सापेक्षतावादाला धरून गणित मांडताना, काही मूलभूत स्वरूपाच्या अडचणी येतात आणि त्याचे निवारण करण शक्य नाही असे त्यास आढळून आले. १९२८ मध्ये तरंग उपपत्तीला एक वेगळेच वळण देऊन डिरॅकने त्या अडचणीवर मात केली. गणितशास्त्राचा सखोल अभ्यास असणाऱ्या डिरॅकलाच तरंग उपपत्तीला वेगळे वळण देण्याचे कार्य करता आले असले तरी त्याने मांडलेली कल्पना साधी व नैसर्गिक आहे. आणि तिच्यासाठी कोणतीही विशेष प्रकारची आधारतत्त्वे मांडावी लागत नाहीत. अल्कली धातूच्या वर्णपटातील जोडीजोडीने असणाऱ्या दोन दोन रेषांच्या स्पष्टीकरणासाठी १९२५ मध्ये उलेनबेक आणि गौडश्मिट यानी ऋणकणाला फिरकीचा गुणधर्म आहे असे गृहित धरले होते. डिरॅकने मांडलेल्या नव्या तरंग समीकरणानी ऋणकणाच्या फिरकी गुणधर्मांचे आपोआपच स्पष्टीकरण मिळाले. उलेनबेक आणि गौडश्मिट यानी मांडलेल्या उपपत्तीची काही वैशिष्ठ्ये होती. ऋणकणाला काही तरी ठराविक आकारमान आहे व फिरकीचा गुणधर्म आहे असे मत त्यानी आपल्या उपपत्तीत मांडले होते. फिरकी असणाऱ्या विद्युतभारवाही वस्तूला चुंबकीय गुणधर्म येत असल्याने, ऋणकणाला चुंबकीय मोमेन्ट आहे असे आपोआपच ठरत होते. हायड्रोजनच्या वर्णपटातील सूक्ष्म रेषांचे स्पष्टीकरण डी ब्रॉली-श्रॉडिंजर उपपत्तीत मिळत नव्हते. ते स्पष्टीकरण डिरॅकच्या उपपत्तीत मिळते. त्याबरोबर त्याने असेही शोधून काढले की ऋणकण ऋणउर्जास्थितीमध्ये असणे शक्य आहे. डिरॅकची ही कल्पना प्रथमदर्शनी समाधानकारक वाटली नाही आणि बऱ्याच जणाना पटली नाही. परंतु ऋणविद्युतभारवाही ऋणकणाच्या अगदी विरुद्ध प्रकारचा क्षण असणे शक्य आहे असे म्हणून डिरॅकने ऋणउर्जास्थितीचे स्पष्टीकरण दिले. यानंतर म्हणजे १९३२ मध्ये अॅन्डरसनने विश्वकिरणात पॉझिट्रॉन कण असतात हा शोध लावल्याने, डिरॅकने मांडलेली ऋणउर्जास्थिती मान्य करावी लागली. नोबेल पारितोषिकाचा

स्वीकार केल्यानंतर डिरॅकने दिलेल्या व्याख्यानात, ऋणकणाच्या अगदी विरुद्ध प्रकारचा कण असणे कसे शक्य आहे या प्रश्नाचा उहापोह केला आहे. म्हणून त्या व्याख्यानातील संबंधित भाग या ठिकाणी उद्धृत केला आहे.

"निरनिराळ्या प्रकारचे सूक्ष्म कण मिळून वस्तूमात्राची निर्मिती होते. एका वस्तूमात्राचे सर्व सूक्ष्म कण एकमेकासारखे असतात असे प्रयोगनिष्ठ भौतिकी-शास्त्रज्ञानी शोधून काढले आहे. वस्तूमात्रांच्या सूक्ष्म कणापैकी काही कण मिश्र किंवा संयुक्त स्वरूपाचे असून, त्याहून साध्या स्वरूपाचे सूक्ष्म कण एकत्र येऊन ते मिश्र किंवा संयुक्त कण तयार झालेले असतात असे दिसून येते. परंतु असेही काही सूक्ष्म कण आहेत की ते संयुक्त किंवा मिश्र स्वरूपाचे आहेत असे म्हणता येत नाही. हे कण संयुक्त किंवा मिश्र स्वरूपाचे आहेत असे अजूनपर्यन्त सिद्ध करता आलेले नाही व कधी तरी ते सिद्ध होईल अशी आशाही नाही. अशा या अतिसूक्ष्म कणाना प्राथमिक व मूलभूत कण म्हणायला हरकत नाही.

सर्व साधारण विचारांच्या दृष्टीने प्राथमिक व मूलभूत कणांच्या निर-निराळ्या प्रकारांची संख्या शक्य तितकी कमी असावी असे वाटते. मूलभूत कण एकाच प्रकारचे असावेत किंवा फार तर त्यात दोन प्रकार असावे आणि त्या मूलभूत कणापासून सर्व प्रकारच्या वस्तूमात्रांची निर्मिती व्हावी ही कल्पना फार रम्य वाटते. परंतु याविषयी झालेल्या प्रयोगावरून मूलभूत कणांच्या प्रकारांची संख्या दोहोहून कितीतरी जास्त आहे असे दिसून येते. खरे बोलायचे तर मूलभूत कणांच्या प्रकारांची संख्या गेल्या काही वर्षात फार झपाट्याने–धास्ती वाटावी इतक्या झपाट्याने–वाढत गेली आहे.

असे जरी असले तरी, परिस्थिती तितकीशी वाईट नाही. प्राथमिक मूलभूत कण आणि संयुक्त कण यामधला फरक अगदी काटेकोरपणे सांगता येत नाही. काही आधुनिक प्रायोगिक माहितीचा अर्थ लावायचा असल्यास, कण निर्माण करता येतात व कणांचा विनाश करता येतो असे समजावे लागते. दुसऱ्या प्रकारच्या एका कणातून एक कण बाहेर पडतो आहे असे दिसून आले तर तो दुसऱ्या प्रकारचा कण संयुक्त कण आहे याची खात्री देता येत नाही. बाहेर पडणाऱ्या कणाची नुकतीच निर्मिती झाली असणेही शक्य आहे. त्यामुळे प्राथमिक कण आणि संयुक्त कण, यामधला फरक, काय सोईस्कर असेल त्यावरून ठरवायची गोष्ट आहे. या एका कारणामुळे, वस्तूमात्र एकाच प्रकारच्या कणापासून किंवा फार तर दोन प्रकारच्या कणापासून निर्माण झाले आहेत ही रम्य कल्पना सोडून देणे भाग आहे.

या ठिकाणी मी अगदी साधे कण विचारात घेणार आहे व फक्त तात्त्विक दृष्टीने विचार केल्यास, काय निष्कर्ष निघतात ते सांगणार आहे.

साध्या कणात पुढील कण मोडतात.

(१) प्रकाशाचे घटक ते प्रकाशकण किंवा फोटॉन.

(२) ऋणकण व नुकतेच सापडलेले पॉझिट्रॉन.
पॉझिट्रॉन कण ऋणकणाचे दर्पणचित्र असून, ऋणकणावर ऋणविद्युतभार तर पॉझिट्रॉनवर धनविद्युतभार एवढाच दोहोत फरक आहे.

(३) धनकण आणि शून्यकण यासारखे वजनदार कण.
ऋणकण व पॉझिट्रॉन या विषयीची उपपत्ती बरीच प्रगत झाली असल्याने, या दोन कणांचाच मी जास्त विचार या ठिकाणी करणार आहे.

– – – –

प्राथमिक कणांच्या गुणधर्माविषयीची माहिती, उपपत्तीच्या आधारे कशी काढता येते हे मी आता दाखवणार आहे. कणाचे काहीही गुणधर्म असले तरी अशा कणांची गती वर्णन करण्यासाठी एक सर्वसाधारण क्वांटम मेकॅनिक्स किंवा क्वांटम गतीशास्त्र आहे. परंतु कणांची गती फारच मोठी नसली तरच ते क्वांटम गतीशास्त्र वापरता येते व उपयोगी पडते. प्रकाशाच्या गतीशी तुलना करता येईल इतकी गती कणाला असल्यास, सापेक्षतेचा परिणाम विचारात घ्यावा लागतो आणि तेथे सर्वसाधारण क्वांटम गतीशास्त्र अनुपयुक्त ठरते. विशिष्ठ गुणधर्म असलेल्या शीघ्र गतीमान कणांच्या बाबतीत वापरता येईल अशा प्रकारचे सापेक्षतावादी क्वांटम गतीशास्त्र अस्तित्वात नाही. तेव्हा सापेक्षतावादाच्या दृष्टीकोनातून क्वांटम गतीशास्त्राचा विचार करायचा असल्यास, कणाच्या गुणधर्माला काही बंधने घालावी लागतात. असे केले तर, सर्वसाधारण भौतिकीशास्त्राच्या तत्त्वांच्या आधारे, तात्त्विक विचार करून, आपल्याला कणाविषयी माहिती मिळवता येते.

अशा प्रकारची कार्यपद्धती ऋणकण आणि पॉझिट्रॉन यांच्या बाबतीत यशस्वी ठरते. इतर प्रकारच्या कणांच्या बाबतीत वापरता येईल अशा प्रकारची कार्यपद्धती लवकरच सापडेल अशी मला आशा आहे. ऋणकण आणि पॉझिट्रॉन यांच्या बाबतीत अंगिकारलेल्या कार्यपद्धतीची मी थोडक्यात माहिती देणार आहे,

व तिच्या आधारे ऋणकणाचे फिरकी गुणधर्म कसे काढता येतात आणि त्यावरून तशाच प्रकारचे गुणधर्म असणाऱ्या व ऋणकणाबरोबर टक्कर झाल्यास दोन्ही कणाचा विनाश होण्याची शक्यता असलेल्या पॉझिट्रॉनच्या अस्तित्वाचा कसा अंदाज करता येतो हे मी सागणार आहे.

अभिजात क्वांटम गतीशास्त्रातल्या एका समीकरणाने आपण या विचाराची सुरवात करू.

W ही गतिक उर्जा आणि pv हा प्रवेग असणाऱ्या ($v = 1, 2, 3$ इत्यादी) कणाच्या बाबतीत पुढील समीकरण लावता येते.

$$\frac{W^2}{C^2} - pv^2 - m^2 \ c^2 = O \quad ---- \quad (I)$$

या (I) समीकरणावरून एक गोष्ट स्पष्ट होते. गतिक उर्जा W ही धनसंख्या असल्यास ती mc^2 हून मोठी असायला पाहिजे, किंवा W ही गतिक उर्जा ऋण-संख्या असल्यास, ती $-mc^2$ हून कमी असायला पाहिजे.

- - - -

व्यवहारात कणाची गतिक ऊर्जा नेहमीच धनस्वरुपी असते. समीकरण क्रमांक (१) नंतर मांडलेल्या समीकरणांचा विचार करता, (मूळ व्याख्यानात समीकरण क्रमांक (१) नंतर बरीच समीकरणे मांडली आहेत) ऋणकणाला दोन प्रकारच्या गती आहेत असे दिसते. त्यातील एक प्रकारची गतीच आपल्याला माहित आहे. ऋणकणाची दुसऱ्या प्रकारची गती अशी आहे की ती गती जितकी वाढते तितकी ऋणकणास कमी ऊर्जा असते व त्या ऋणकणाना थांबवण्यासाठी त्याना ऊर्जा पुरवावी लागते.

त्यामुळे आपल्या उपपत्तीत एक नवीन आधारतत्त्व वापरावे असे मला वाटते. शक्य असलेल्या दोन गतीपैकी एकच गती ऋणकणाना असते हे ते आधार-तत्त्व होय. असे करण्याने एक अडचण उभी राहाते, कारण ऋणकणामध्ये काही बदल घडवून आणल्यास, ऋणकणाच्या धनऊर्जास्थितीचा ऋणऊर्जास्थितीत बदल होईल. असा औपपत्तिक निष्कर्ष आहे. तेव्हा जगातले सर्व ऋणकण सुरवातीला

धनऊर्जास्थितीत असले तरी काही काळानंतर त्यातील काहींना ऋणऊर्जास्थिती प्राप्त होईल.

अशा रीतीने ऋणऊर्जास्थिती असणे शक्य आहे असे म्हणण्यात, प्रयोगांनी जे आपल्याला शक्य कोटीत आहे असे वाटले नाही ते तसे आहे असा तात्त्विक निष्कर्ष निघतो. तेव्हा जे प्रयोगानी साध्य झाले नाही, ते तात्त्विक दृष्टयाही अस्तित्वात असणे शक्य नाही असे म्हणून एक नवीन आधारतत्त्व मांडण्याची जरूर नाही. त्याऐवजी धनऊर्जास्थिती व ऋणऊर्जास्थिती या दोन स्थितींचा काय अर्थ लावायचा त्याचा आपण विचार केला पाहिजे.

ऋण वैद्युती क्षेत्रात या ऋणऊर्जास्थितीची काय वर्तणूक असेल याचा विचार करता, नेहमीच्या ऋणविद्युतभाराऐवजी धनविद्युतभार धारण करणाऱ्या इलेक्ट्रॉनच्या गतीचा त्या ऋणऊर्जास्थितीशी संबंध आहे, असे ठरते. धनविद्युतभार धारण करणाऱ्या या इलेक्ट्रॉनलाच सध्या पॉझिट्रॉन म्हणतात. त्यामुळे ऋणऊर्जास्थिती-मधील ऋणकण म्हणजेच पॉझिट्रॉन असे समजण्याकडे कोणाचाही कल होईल. पण असा विचार करणे योग्य ठरणार नाही. कारण पॉझिट्रॉन नेहमीच ऋणऊर्जा-स्थितीत असत नाहीत. परंतु ऋणऊर्जास्थितीत असणारे ऋणकण आणि पॉझिट्रान यामधला संबंध अप्रत्यक्षरीत्या आपण प्रस्थापित करू शकतो.

यासाठी आपल्याला पॉलीचे अपवर्तन तत्त्व वापरावे लागते. या तत्त्वानुसार कोणत्याही एका गतीस्थितीमध्ये एकच ऋणकण असणे शक्य आहे. आता आपण असे समजू या, की जगातल्या सर्व ऋणऊर्जास्थिती ऋणकणांनी भरल्या आहेत किंवा व्यापल्या आहेत, आणि त्यातील प्रत्येक ऋणऊर्जास्थितीत एक एक ऋणकण आहे, आणि ऋणऊर्जास्थिती ऋणकणाकडून एकरूप भरून गेलेली पाहाणे आप-ल्याला शक्य नाही. कोणतीही ऋणऊर्जास्थिती ऋणकणाने भरून गेली नसल्यास, तो प्रकार एकरूपतेत बसणारा नाही. त्यामुळे तो आपल्या पाहाण्यात येईल आणि एकरूपतेत न बसणारा तो कण पॉझिट्रॉन असेल.

ऋणकणाने न भरलेली ऋणऊर्जास्थिती किंवा त्या स्थितीला एक छोटासा शब्द वापरायचा असल्यास, त्या स्थितीला आपण 'विवर' असे म्हणू या. या विवराला धनऊर्जास्थिती असणार कारण तेथे ऋणऊर्जेची घट झालेली असणार. 'विवर' हा शब्द आपण वापरला तरी विवर म्हणजे एक साधा कण असून, तो

कण पॉझिट्रॉन होय असे म्हणणे हा आपल्या समीकरणात ऋणऊर्जा मिळण्याच्या अडचणीतून मार्ग काढण्याचा एकमेव उपाय आहे. हा विचार मान्य केल्यास, पॉझिट्रॉन हा ऋणकणाचे दर्पण-प्रतिबिंब आहे कारण त्याचा भार ऋणकणाइतकाच व त्यावरील विद्युतभार ऋणकणावरील विद्युतभाराइतकाच पण धनस्वरूपी आहे. हे प्रयोगाने जवळजवळ सिद्ध झाले आहे. ऋणकणाला जशी फिरकी असते, तशी फिरकी पॉझिट्रॉनला असायला पाहिजे. परंतु पॉझिट्रॉनला फिरकी असते की नाही याचा प्रायोगिक निर्णय अद्यापी लागलेला नाही.

तात्त्विक दृष्टया विचार करता, धनऊर्जा असलेल्या ऋणकणाला 'विवरा-मध्ये' जाऊन ते विवर भरुन टाकणे शक्य व्हावे. असे करण्याने जी ऊर्जा बाहेर पडेल किंवा मुक्तावस्थेत येईल ती ऊर्जा वैद्युती चुंबकीय विकिरणरूपाने दिसून येईल. असे झाल्यास ऋणकण व पॉझिट्रॉन यानी एकमेकाचा विनाश करण्याची ती एक प्रक्रिया आहे असे समजावे लागेल. याच्याबरोबर उलटी प्रक्रिया म्हणजे वैद्युती चुंबकीय विकिरणापासून ऋणकण व पॉझिट्रॉन यांची निर्मिती घडून येणे शक्य आहे. अशा प्रकारच्या उलट प्रक्रिया संशोधकांच्या पाहाण्यात आल्या आहेत असा माझा समज आहे. त्यामुळे सध्या या प्रक्रियासंबंधी संशोधन चालू आहे.

संशोधनाचे परिणाम

तरंग गतीशास्त्राचा पाया डी ब्रॉलीने घातला. त्या पायावर श्रॉडिंजर, डिरॅक आणि त्यासारखे इतर गणितज्ञ यानी तरंगगतीशास्त्राची भव्य इमारत रचली आहे. सूक्ष्म प्रणाली विषयीच्या उपपत्तीची मांडणी करण्यात, तरंगगती-शास्त्र आश्चर्य करावे इतक्या प्रमाणात यशस्वी झाले आहे. हायझेनबर्गने १९२५ मध्ये मॅट्रिक्स मेकॅनिक्स किंवा मॅट्रिक्स गतीशास्त्र या नवीन विषयाची स्थापना व मांडणी केली. मॅट्रिक्स गतीशास्त्रसुद्धा निरनिराळ्या तात्त्विक प्रश्नाचा निकाल लावण्यात अत्यंत यशस्वी झाले आहे. तरंगगतीशास्त्र व मॅट्रिक्स गतीशास्त्र या दोन्ही विचारपद्धतीत समतुल्य आहेत व त्या दोन्ही पद्धतीनी तात्त्विक प्रश्नाचे एकच उत्तर येते असे श्रॉडिंजरने १९२६ साली सिद्ध केले. तरंगगतीशास्त्र आणि मॅट्रिक्स गतीशास्त्र ही क्वांटम गतीशास्त्राची दोन रूपे आहेत, कण विषयीच्या भौतिकी शास्त्रातील तात्त्विक प्रश्नाची उत्तरे शोधण्याच्या या दोन विचारपद्धती

आहेत. त्यातली कोणती पद्धत स्वीकारायची हे विचारासाठी घेतलेल्या तात्त्विक प्रश्नाच्या स्वरूपावर अवलंबून आहे. शुद्ध भूमिती आणि पृथक्करणात्मक भूमिती किंवा analytical भूमिती यातील कोणती भूमिती स्वीकारायची हे ज्याप्रमाणे विचारासाठी घेतलेल्या प्रश्नाच्या स्वरूपावर अवलंबून असते, त्यासारखाच हा प्रकार आहे असे आपण समजले पाहिजे.

– – – –

१९३४

या वर्षी नोबेल पारितोषिक दिले गेले नाही.

१९३५

जेम्स चॅडविक

(१८९१ -)

"शून्यकणांच्या शोधाबद्दल नोबेल पारितोषिक"

चरित्र

२० ऑक्टोबर १८९१ रोजी, इंग्लंडमधील मँचेस्टर या शहरी जेम्स चॅडविकचा जन्म झाला. मँचेस्टर सेकंडरी स्कूलमध्ये त्याचे शालेय शिक्षण झाले. त्यानंतर मँचेस्टर विद्यापीठात त्याने विश्वविद्यालयीन शिक्षण घेतले. १९०८ मध्ये त्याने भौतिकीशास्त्राच्या अभ्यासासाठी खास उघडलेल्या मँचेस्टर विद्यापीठाच्या ऑनर्स स्कूलमध्ये प्रवेश मिळविला. १९११ मध्ये भौतिकीशास्त्राचा पदवीधर झाल्यानंतर त्याने तेथेच रदरफोर्डच्या मार्गदर्शनाखाली किरणोत्सर्गाविषयी संशोधन केले. १९१३ मध्ये त्यास १८५१ प्रदर्शन शिष्यवृत्ती मिळाली व तो शार्लटनबर्ग-मधील फिझिकालिश टेक्निश रिक्सानस्टाल्टमधील प्रो. एच्. गायगर यांच्या हाताखाली संशोधन करण्यासाठी जर्मनीस गेला. जर्मनीत संशोधनकार्य करीत असतानाच, पहिल्या महायुद्धास सुरवात झाली. त्यामुळे शत्रुराष्ट्राचा नागरिक

म्हणून जर्मन सरकारने त्यास स्थानबद्ध केले. महायुद्ध संपेपर्यन्त रुलेबेन येथील युद्धकैद्यांच्या छावणीत त्यास राहावे लागेल. महायुद्ध संपल्यानंतर त्याची सुटका झाली व तो इंग्लंडला परतला.

१९१९ मध्ये केम्ब्रिजमधील गॉनव्हिल व केअस कॉलेजची त्यास शिष्यवृत्ती मिळाली. त्या शिष्यवृत्तीच्या आधारे त्याने त्या कॉलेजात अणुगर्भविषयक संशोधन केले. १९२१ मध्ये त्यास त्या कॉलेजची फेलोशिप मिळाली. त्यानंतर दोन वर्षांनी १९२३ मध्ये त्यास केम्ब्रिजच्या कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेच्या संशोधन विभागाचा सहाय्यक संचालक नेमण्यात आले. १९३१ मध्ये लिव्हरपूल विद्यापीठाने त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. दुसऱ्या महायुद्धकाळात त्याने न्यू मेक्सिको-मधील सांता फे संशोधन केन्द्रात काम केले. १९४८ साली त्यास केम्ब्रिजमधील गॉनव्हिल व केअस कॉलेजचा प्रमुख नेमण्यात आले.

१९२७ साली त्यास लंडनच्या रॉयल सोसायटीची फेलोशिप मिळाली. १९३२ साली त्यास ह्युजेस पदक व १९५० मध्ये कोपले पदक मिळाले. १९४५ साली त्यास नाइटहूड मिळाली व तेव्हापासून तो सर जेम्स चॅडविक या नावाने ओळखला जाऊ लागला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वांचे विघटन होताना, त्यातून अल्फा व बीटा कण आणि गॅमा किरण बाहेर पडतात. अल्फा कण म्हणजे दोन ऋणकणावरील विद्युतभारा-इतका पण धन विद्युतभार धारण करणारा हेलियम अणू होय. म्हणजे हेलियम अणूतून दोन ऋणकण काढून घेतल्यावर मागे राहिलेला शेष हेलियम अणू म्हणजे अल्फा कण होय. विसाव्या शतकाच्या सुरवातीला मूलतत्त्वामध्ये त्याच्या अणू-भाराच्या संख्येइतके ऋणकण व धनकण असतात असे समजत असत. त्या कल्पने-प्रमाणे हेलियम अणूमध्ये चार ऋणकण व चार धनकण आहेत असे समजत असत. त्यानंतर अणुरचनेविषयीच्या कल्पना स्पष्ट झाल्यानंतर, दोन धनकणाइतका धन-विद्युतभार धारण करणाऱ्या अणुगर्भाभोवती दोन ऋणकण फिरत असतात अशी कल्पना मान्य झाल्यावर हेलियमचा अणुगर्भ म्हणजे अल्फाकण असे ठरले. अतिशय मोठ्या वेगाने धावणारे ऋणकण म्हणजे बीटा कण होत असेही त्याबरोबर ठरले.

निरनिराळ्या मूलतत्त्वांच्या अणुगर्भापैकी सर्वांत साधा व समजायला सोपा अणुगर्भ हायड्रोजनचा आहे. त्या अणुगर्भावर एक धनकणाएवढा म्हणजे $+e$ इतका विद्युतभार आहे, व त्याचा भार जवळ जवळ हायड्रोजनच्या अणूभाराइतका आहे. ऋणकणावर $-e$ इतका विद्युतभार असून, त्याचा भार हायड्रोजन अणूच्या भाराच्या तुलनेने नगण्य आहे. सध्याच्या मान्य कल्पनाप्रमाणे हायड्रोजनचा अणुगर्भ एक मूलभूत कण आहे. त्या कणास प्रोटॉन किंवा धनकण असे नाव देण्यात आले आहे. म्हणजे हायड्रोजन अणूचे चित्र थोडक्यात पुढीलप्रमाणे होते. हायड्रोजन अणूच्या केंद्रस्थानी एक प्रोट्रॉन किंवा धनकण असतो व एक ऋणकण त्याभोवती फिरत असतो. हेलियम अणूचा भार हायड्रोजन अणूच्या भाराच्या चौपट आहे. म्हणजे हेलियमचा अणूभार ४·००३ आहे. अणूचा भार जास्त करून अणुकेंद्रात असतो असे असल्याने, हेलियमच्या अणुकेंद्रात चार धनकण असावेत हे उघड आहे. पण हेलियमच्या अणुकेंद्रावरील किंवा अणुगर्भावरील विद्युतभार $+4e$ असण्याऐवजी $+2e$ आहे. तेव्हा हेलियमच्या अणुगर्भात ४ धनकणांच्या जोडीला दोन ऋणकण असावेत अशी कल्पना करीत असत. याचप्रमाणे इतर मूलतत्त्वांच्या अणूंच्या बाबतीत विचार करीत असत. उदाहरणार्थ सोडीयमच्या अणुगर्भात २३ धनकण व १२ ऋणकण, पोटॅशियमच्या अणुगर्भात $3e$ धनकण व २० ऋणकण आहेत असे म्हणत असत. अणूच्या रासायनिक अणुभाराजवळच्या पूर्णांकाइतके धनकण अणुगर्भात आहेत व त्यांच्या जोडीला ऋणकण अशा संख्येने आहेत की अणुगर्भावरचा एकंदर धनविद्युतभार, अणुगर्भाभोवती फिरणाऱ्या ऋणकणांच्या ऋणविद्युतभाराइतका होईल–म्हणजे अणूचा एकंदरीत विचार करता अणूवर धन किंवा ऋण कोणताच विद्युतभार नाही. अणुगर्भाभोवती फिरणाऱ्या ऋणकणांची संख्या मूलतत्त्वाच्या अणुक्रमांकाइतकी असते.

सध्या मान्य असलेल्या अणुरचनेच्या कल्पनेप्रमाणे अणूचा भार A असल्यास, त्यावरून त्या अणूतील धनकणसंख्या कळते. मूलतत्त्वाचा अणुक्रमांक Z असल्यास, त्यावरून त्या मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भावर किती धनविद्युतभार आहे ते समजते, व $(A-Z)$ या संख्येने अणुगर्भाभोवती किती ऋणकण प्रदक्षिणा करीत आहेत ते समजते. भौतिकीशास्त्रातील सध्याच्या प्रथेप्रमाणे मूलतत्त्वाचा भार क्रमांक व अणुक्रमांक मूलतत्त्वाच्या रासायनिक संकेतचिन्हाच्या बाजूला लिहितात: हेलियमचा अणुगर्भ ^4_2He किंवा $_2He^4$ या चिन्हाने दाखवितात. आवर्तनसारणीतील तिसऱ्या मूलतत्त्वाचे – लिथियमचे दोन एकस्थानी आहेत. एकाचा अणूभार ६ आहे व दुसऱ्याचा ७ आहे. हे दोन अणुगर्भ ^6_3Li व ^7_3Li या चिन्हानी दाखवतात. अणुगर्भात

ऋणकण असू शकतात या उपपत्तीप्रमाणे विचार केल्यास, ६ अणूभाराच्या लिथियमच्या अणुगर्भात ६ धनकण व ३ ऋणकण आहेत; व ७ अणूभाराच्या लिथियमच्या अणुगर्भात ७ धनकण व ४ ऋणकण आहेत. दोन्ही एकस्थानीमध्ये अणुगर्भाभोवती ३ च ऋणकण प्रदक्षिणा घालीत असतात. चॅडविकने शून्यकणांचा शोध लावण्याआधी अणुगर्भात ऋणकण असणे शक्य आहे असे समजत असत. अणुगर्भात ऋणकण असणे शक्य आहे असे एकीकडे म्हणत असता, विरुद्ध विद्युत-भार असणारे धनकण व ऋणकण एकत्र राहून आपले स्वतंत्र अस्तित्व कसे टिकवून आहेत याचे उत्तर मिळत नव्हते. मान्य तत्त्वाप्रमाणे धन व ऋण विद्युत-भारानी एकमेकाचे उदासीनीकरण करायला पाहिजे होते. पण तरीही अणुगर्भात धन व ऋण कण आहेत असे म्हणत होते. शून्यकणांच्या शोधाअगोदरची परिस्थिती समजावून घेतल्यानंतर आता आपल्याला चॅडविकच्या नोबेल व्याख्याना-कडे वळायला हरकत नाही. या ठिकाणी त्या व्याख्यानाचा काही भाग दिला आहे.

"शून्यकणांच्या गुणधर्मासारखे गुणधर्म असणारे व शून्यविद्युतभार धारण करणारे कण अणुगर्भात असावेत असे मत, रदरफोर्डने प्रथमत: १९२० साली प्रगट केले. हायड्रोजन अणूमध्ये धनकण व ऋणकण ज्याप्रमाणे एकत्र असतात म्हणजे धनकणाभोवती ऋणकण प्रदक्षिणा करीत असतो त्याहून काहीतरी वेगळ्या प्रकारे धनकण व ऋणकण अणुगर्भात एकमेकांच्या जवळ येतील व त्यामुळे मुळी-सुद्धा विद्युतभार नसलेला व जवळ जवळ धनकणाइतका भार असलेला कण तयार होईल. वस्तुमात्रातील दोन मूलभूत कणापासून अणुगर्भ तयार होण्याच्या क्रियेतील पहिले पाऊल म्हणजे अशा प्रकारच्या विद्युतभाररहित व धनकणाइतका भार असणाऱ्या कणाची निर्मिती हे होय असे रदरफोर्डचे मत होते. शून्यकणाची निर्मिती कशी होते हे लक्षात आले की जास्त वजनदार अणुगर्भाची निर्मिती कशी होत असावी याची कल्पना करता येते. आपण मांडलेल्या कल्पनेप्रमाणे शून्यकणांची निर्मिती होत असल्यास, अशा शून्यकणांचे गुणधर्म काहीसे विशिष्ठ व चित्तवेधक असतील असे त्यास वाटत होते.

अणुगर्भामध्ये शून्यकणांची निर्मिती होत असावी हे रदरफोर्डचे म्हणणे पटण्यासारखे होते तरी शून्यकणांच्या अस्तित्वाचा काहीही प्रायोगिक पुरावा मिळत नव्हता. हायड्रोजन वायूमधून विद्युतविमुक्ती करून शून्यकणांची निर्मिती करता येते का हे पाहाण्याचा प्रयत्न १९२१ मध्ये कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेतील ग्लॅसन

आणि रॉबर्टस या शास्त्रज्ञांनी केला होता. परंतु त्यांच्या प्रयत्नास काहीही यश प्राप्त झाले नाही.

रदरफोर्डने कल्पिलेले शून्यकण कदाचित अस्तित्वात नसण्याची शक्यताही डोळ्याआड करता येत नव्हती. मी शून्यकण शोधण्याचा वेगवेगळ्या प्रकारे प्रयत्न करून पाहिला. नलिकातून वेगवेगळ्या प्रकारे विद्युत विमुक्ती करून, किरणोत्सर्गी मूलतत्वांच्या विघटनाचा अभ्यास करून व अल्फाकणांच्या माऱ्याने कृत्रिम विघटन क्रिया घडवून आणून, यात कोठेतरी शून्यकण निर्मिती होते का हे पाहाण्याचा मी प्रयत्न केला.

त्यानंतर काही हलक्या किंवा अल्प अणूभाराच्या मूळ तत्वावर अल्फा–कणांचा मारा केल्यास, त्यातून गॅमाकिरण बाहेर पडतात असे बोथे व बेकर यानी प्रसिद्ध केले. बोथे व बेकर याचे संशोधन निष्कर्ष प्रसिद्ध झाले, त्याचवेळी अेच्. सी वेब्स्टरचे तशाच प्रकारचे–मूलतत्त्वावर अल्फाकणांचा मारा करण्याचे प्रयोग कॅव्हेन्डिश प्रयोग शाळेत चालू होते. आपल्या प्रयोगात मिळणाऱ्या कृत्रिम किरणोत्सर्गाचा वेब्स्टरने जास्त कसोशीने अभ्यास केला. बेरिलियमवर अल्फाकणांचा मारा केल्यावर, त्यातून होणाऱ्या किरणोत्सर्गाचे गुणधर्म काहीतरी वेगळे व विशिष्ठ प्रकारचे असल्याचे त्यास आढळले. ते गुणधर्म त्या विशिष्ठ किरणोत्सर्गास का यावेत याचे स्पष्टीकरण त्याला देता येईना. तेव्हा या विशिष्ट किरणोत्सर्गास शून्यकण असावेत असे मी सुचविले, व माझ्या कल्पनेचा किंवा उपपत्तीचा खरेपणा पहाण्या–साठी, तो किरणोत्सर्ग विस्तारपात्रातून धाडून, विस्तारपात्राचे फोटो घ्यायला मी सांगितले. त्याप्रमाणे प्रयोग झाला व विस्तारपात्राचे बरेचसे फोटो घेण्यात आले. त्यावेळी काही थोड्याशा बीटा कणांच्या धावमार्गाचा पत्ता लागला. कशावर तरी आपटून परत फिरलेले ते ऋणकण असावेत असे वाटले. परंतु अनपेक्षित व वेगळे असे काहीही आम्हाला आढळले नाही.

फ्रान्समध्ये ज्योलिओ–क्युरी पतीपत्नीसुद्धा बेरिलियमवर अल्फाकणांचा मारा केल्यावर मिळणाऱ्या किरणोत्सर्गाचा अभ्यास करीत होते. अल्फाकणांचा मारा केल्यावर बेरिलियममधून होणारा किरणोत्सर्ग एका छोट्याशा गवाक्षातून, त्यांनी हवेने भरलेल्या आयनीकरण पात्रातून जाऊ दिला. पॅराफिन मेण किंवा हायड्रोजन जास्त प्रमाणात असणारी एखादी वस्तू गवाक्षापुढे किरणोत्सर्गाच्या मार्गात ठेवली, तर आयनीकरण पात्रातील हवेचे जास्त आयनीकरण होत होते. पॅराफिन मेणातून

अतीवेगवान धनकण बाहेर पडू लागल्याने हवेचे आयनीकरण वाढते असे त्यांनी दाखवले.

बेरिलियममधून बाहेर पडणारा किरणोत्सर्ग क्वांटम विकिरणाच्या स्वरुपाचा आहे असे धरल्यास, त्याच्या गुणधर्मांचे स्पष्टीकरण देता येत नव्हते. म्हणून मी बेरिलियममधून होणाऱ्या किरणोत्सर्गाचा अभ्यास करायला लगेच सुरवात केली. गायगर गणक यंत्र, विस्तार पात्र व अतिदाब आयनीकरण पात्र या तीनही पद्धती वापरून मी त्या विकिरणांचा अभ्यास सुरू केला.

बेरिलियमवर अल्फा कणांचा मारा केल्यावर, त्यातून होणारा किरणोत्सर्ग पॅराफिन मेणावर पडल्यावर त्यातून वेगवान कण बाहेर पडतात एवढेच नाही तर तो किरणोत्सर्ग लिथियम, बेरिलियम, बोरॉन यासारख्या पदार्थावर पडल्यावर त्यातून वेगवान कण बाहेर पडतात. परंतु लिथियम, बोरॉन यासारख्या पदार्थातून बाहेर पडलेले कण फक्त काही मिलीमीटरच हवेतून जाऊ शकतात. आम्ही केलेल्या प्रयोगावरून असे दिसले की लिथियम, बोरॉन यामधून बेरिलियममधून होणारा किरणोत्सर्ग जाऊ दिल्यास मिळणारे कण हे त्या त्या मूलतत्त्वाचे प्रत्याघात अणू होत व किरणोत्सर्गाचा त्या मूलतत्त्वांच्या अणूवर आघात झाल्याने, त्यांच्या काही अणूना गती प्राप्त झालेली असते.

बेरिलियममधून होणारा किरणोत्सर्ग लिथियम, बोरॉनवर आदळल्यावर, प्रत्याघात अणू मिळतात हे विस्तारपात्रात केलेल्या प्रयोगानी दाखवता येते. या विषयीचे प्रयोग डॉ. फेदर व डॉ. डी यानी केले आहेत.

विस्तारपात्रात नायट्रोजन वायू भरून, त्यातून बेरिलियममधून होणारा किरणोत्सर्ग जाऊ देऊन, त्या विस्तारपात्राचे फोटोग्राफ डॉ. फेदरने घेतले. त्यातील दोन फोटोग्राफमध्ये दोन तोकडे व गडद धावमार्ग दिसले. त्यातील प्रत्येक धावमार्ग बेरिलियममधून होणारा किरणोत्सर्ग नायट्रोजन अणूवर आदळल्याने मिळाला होता. त्यातील एका धावमार्गात, नायट्रोजन अणूवर दुसरा नायट्रोजन अणू आदळण्याने तयार झालेला कोन होता व तो कोन ९० अंशाचा होता. म्हणजे मूळचा धावमार्ग नायट्रोजन अणूचाच होता.

अशा रीतीने बेरिलियममधून होणारा किरणोत्सर्ग क्वांटम विकिरणापेक्षा वेगळ्या प्रकारचा होता. मार्गात आलेल्या अणूवर आदळल्यावर, त्या अणूला गती

देण्याच्या गुणधर्मामुळे, बेरिलियममधून होणाऱ्या किरणोत्सर्गात कण बाहेर पडतात असा निष्कर्ष निघत होता.

(पॅराफिन मेणातून उत्सर्जन होणारे धनकण आणि प्रत्याघात अणू नायट्रोजनने भरलेल्या विस्तारपात्रातून जास्तीतजास्त कोणत्या वयोमर्यादेपर्यंत जाऊ शकतात हे मोजल्यास, बेरिलियममधून होणाऱ्या किरणोत्सर्गात असणाऱ्या कणांचा भार किती असावा हे गणिताने काढता येते. धनकणाचा भार एक धरल्यास, बेरिलियममधून बाहेर पडणाऱ्या कणाचा भार ०.९ असावा असे ठरले.)

त्यामुळे बेरिलियममधून उत्सर्जन होणाऱ्या विकिरणात कण असतात व या कणांचा भार धनकणांच्या भाराइतका असतो असा निष्कर्ष निघतो. बेरिलियममधून बाहेर पडणारे हे कण दहा किंबहुना वीस सेन्टीमीटर जाडीच्या शिशाच्या पत्र्यातून आरपार जाऊ शकतात असे समजून आले आहे. परंतु या कणाइतकाच वेग असणारे धनकण अडवायला १/४ मिलीमीटर जाडीचा शिशाचा पत्रा पुरा पडतो. एकच भार व वेग असणाऱ्या कणांची भेदकशक्ती त्या कणावर असणाऱ्या विद्युतभाराने ठरत असल्याने, बेरिलियममधून बाहेर पडणाऱ्या विकिरणातील कणावर अत्यंत अल्प विद्युतभार असला पाहिजे. त्यावर मुळीसुद्धा विद्युतभार नाही ही कल्पना त्यातल्या त्यात सहज पटण्यासारखी आहे. बेरिलियममधून बाहेर पडणाऱ्या विकिरणातील कणांचा भार धनकणाइतका आहे व त्यावर शून्य विद्युतभार आहे असे धरल्यास, ते रदरफोर्डने कल्पिलेले शून्यकण आहेत. बेरिलियममधून होणाऱ्या किरणोत्सर्गात शून्यकण असतात हे मान्य केल्यास, त्या विकिरणांच्या गुणधर्मांचे स्पष्टीकरण देता येते.

धनकण व ऋणकण एकमेकांच्या अगदी सन्निध येऊन एक झाल्यास या एकीकरणामुळे शून्यकण तयार होईल या रदरफोर्डच्या कल्पनेचा मी निर्देश केला आहेच. शून्यकण हा एक जटिल कण आहे असा ग्रह प्रथमदर्शनी होणे अगदी स्वाभाविक होते. त्याउलट क्वांटम मेकॅनिक्स शास्त्राप्रमाणे धनकण व ऋणकण एकत्र आल्यास, त्या एकत्रीकरणामुळे हायड्रोजन अणू तयार व्हावा. त्या शास्त्राच्या एकंदर मांडणीत शून्यकणाची रचना बसवता येत नाही, शून्यकण व धनभारवाही इलेक्ट्रॉन (यालाच पॉझिट्रॉन असे नाव मिळाले आहे) एकत्र आल्यास धनकण तयार होईल असे समजणेही कठीण आहे. तेव्हा शून्यकण व धनकण हे प्राथमिक .मूलभूत कण आहेत

की नाहीत याचा उहापोह सध्या तरी करता येत नाही. कदाचित एकाच मूलभूत वजनदार कणाची ती दोन रूपे असतील.

किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वातून बीटा किरण कसे बाहेर पडतात याचे स्पष्टीकरण देण्यासाठी पुढील उपपत्ती वापरता येते. बीटा किरणोत्सर्गाच्या वेळी अणुगर्भातील एका शून्यकणाचे धनकणात व ऋणकणात रूपांतर होते. त्यातील ऋणकण बाहेर जातो व धनकण अणुगर्भातच राहातो. अणुगर्भातील धनकणाचे शून्यकण व धन-विद्युतभारवाही इलेक्ट्रॉनमध्ये म्हणजे पॉझिट्रॉनमध्ये रूपांतर झाले तर या रूपांतरामुळे अणुगर्भातून पॉझिट्रॉन किंवा धनविद्युतभारवाही इलेक्ट्रॉन बाहेर पडेल. कृत्रिम किरणोत्सर्गात असा प्रकार कधी कधी आढळतो.

तेव्हा शून्यकण → धनकण + ऋणकण

$$n^0 \rightarrow p+ \; + \; e^-$$

धनकण → शून्यकण + पॉझिट्रॉन

$$p+ \rightarrow n^0 \; + \; e+$$

अणुगर्भाबरोबर शून्यकणांची टक्कर झाल्यावर त्यांचे प्रवेग मोजल्यास, शून्यकणांच्या भाराचा अंदाज करता येतो, असे मी या अगोदरच म्हटले आहे. पण हा अंदाज अचूक असत नाही. शून्यकणाच्या भाराचा अचूक अंदाज करण्यासाठी अणुगर्भातून ज्यावेळी एक शून्यकण बाहेर पडतो त्यावेळी त्या विघटन–प्रक्रिये–तील ऊर्जा संबंधांचे मापन करायला पाहिजे. ड्युटेरॉनवर किंवा दोन अणुभाराच्या हायड्रोजनवर गॅमा किरणांचा परिणाम घडवून, त्यातून शून्यकण बाहेर पडताना ऊर्जा संबंधाचा अभ्यास केल्यास शून्यकणाचा भार १.००८५ आहे असे ठरते. हायड्रोजन अणूचा भार १.००८१ आहे.

वस्तूमात्रातून शून्यकण जात असता, त्याची अणुगर्भाबरोबर टक्कर झाल्यास त्याची ऊर्जा कमी होते. त्या उलट ऋणकणाची अणुगर्भाबरोबर टक्कर होऊनही त्याची ऊर्जा कमी होत नाही. शून्यकण हवेतून गेल्यावर हवेचे किती प्रमाणात आयनीकरण होते हे डॉ. डीने मोजले आहे. डॉ. डीच्या प्रयोगाप्रमाणे, शून्यकण तीन मीटर लांबीचा मार्ग चालून गेल्यानंतर, एक आयनजोडी निर्माण होते. तर मॅसीच्या प्रयोगाप्रमाणे $१०^५$ किलोमीटर अंतर शून्यकण हवेतून चालून गेल्यानंतर

एक आयनजोडी निर्माण होत असावी. धनकणासारखे विद्युतभारवाही कण हवेतून गेल्यावर हवेचे ज्या प्रमाणात आयनीकरण होते त्यामानाने हा प्रकार काही तरी वेगळाच आहे. धनकण हवेतून जात असता, ऋणकणाबरोबर टक्करी झाल्याने, त्यांची ऊर्जा कमी कमी होत शून्यावर येते. शून्यकणाची ऋणकणाबरोबर टक्कर होण्याच्या संभाव्यतेपेक्षा, त्याची अणुगर्भाबरोबर टक्कर होण्याची संभाव्यता जास्त असली तरी अशा टक्करी क्वचितच घडून येतात. शून्यकण व अणुगर्भ यामधील अंतर $१०^{-१२}$ सेंटीमीटरहून कमी असते, त्यावेळीच त्यांचा परस्परावर परिणाम घडून येईल. शून्यकण अणुगर्भावर आदळल्यास, शून्यकण जाण्याच्या दिशेत बदल होईल व ज्या अणुगर्भावर तो आदळेल त्या अणुगर्भास ऊर्जा मिळून त्यामुळे आयन तयार होतील. प्रत्याघात अणुगर्भाचे अस्तित्व आयनीकरण पात्रात किंवा विस्तार-पात्रात, तो जाण्याच्या मार्गाचा मागोवा काढल्यास समजून येते. परंतु काहीवेळा, शून्यकण अणुगर्भावर आदळल्यावर, शून्यकण अणुगर्भात प्रवेश करतो व त्यामुळे अणूचे विघटन होते. नायट्रोजनने भरलेल्या विस्तार पात्रातून शून्यकण जात असता, त्यानी नायट्रोजनच्या अणुगर्भात प्रवेश केल्याने घडून आलेली विघटने, डॉ. फेदरच्या पाहाण्यात आली आहेत.

— — — —

जास्त अणुक्रमांकाच्या मूलतत्त्वावर व इतर मूलतत्त्वावर शून्यकणांचा मारा केल्यास, कृत्रिम किरणोत्सर्ग सुरू होतो असे फर्मी व त्याचे सहकारी यानी दाखवले आहे. या कामी कमी ऊर्जा असलेले शून्यकण जास्त परिणामकारक आहेत असेही त्यानी दाखवले आहे.

संशोधनाचे परिणाम

अणुगर्भाची रचना कशी असावी या विषयीच्या उपपत्तींचा इतिहास चॅडविकच्या संशोधनाची माहिती देता देता दिला आहे. अणुगर्भाच्या विघटना—विषयी जी माहिती उपलब्ध होतो त्या माहितीला अनुरूप अशा उपपत्त्या मांडण्यात आलया होत्या. किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वांचे आपसूक किंवा स्वयंस्फूर्त विघटन असो की मूलतत्त्वावर अल्फा कणांचा मारा करून, घडवून आणलेले त्यांचे कृत्रिम विघटन असो, त्या दोहोंच्याही बाबतीत अणुगर्भाच्या रचनेविषयीच्या उपपत्त्या

वापरता येत होत्या. अणुगर्भातून धनकण अल्फाकणांच्या रुपाने जोडीने बाहेर पडतात किंवा बीटाकणांच्या रुपाने ऋणकण बाहेर पडतात. तेव्हा अणूमध्ये धनकण व ऋणकण असतात याबद्दल काहीही शंका नव्हती. पण अणूच्या विघटनाबरोबर जे ऊर्जा फरक घडून येतात, त्याविषयी जास्त माहिती मिळाल्यावर, अणुगर्भाच्या रचनेचा अंदाज करणे दिवसेंदिवस कठीण होऊ लागले.

चॅडविकने शून्यकणांचा शोध लावल्याने अणुगर्भाच्या रचनेचा पुर्नविचार करणे भाग पडले. अणुगर्भातून ज्याप्रकारे अल्फा कण बाहेर पडतात, त्याप्रमाणे त्यातून शून्यकणही बाहेर पडतात. तेव्हा ते अणुगर्भात असले पाहिजेत हे उघड आहे. शून्यकणाचा भार धनकणाच्या भाराइतकाच असल्याने अणुगर्भातील काही धनकणाऐवजी तेथे शून्यकण असतात, अशी कल्पना करणे फार सोपे होते. त्यामुळे अणुगर्भाच्या भारात काही फरक होणार नव्हता. फक्त आवर्तनसारणीतील मूल-तत्त्वाच्या क्रमांकास अनुरूप असा अणुगर्भावरील विद्युतभार आपल्या अस्तित्वाने त्यास देऊ शकतील इतके धनकण अणुगर्भात राहू दिले म्हणजे झाले. तसे केल्यास अणुगर्भाबाहेरील ऋणकणावरील ऋणविद्युतभाराइतकाच धनविद्युतभार अणुगर्भा-वर राहील व शिवाय अणुगर्भात ऋणकण राहू शकतात असे म्हणण्याची जरूर पडणार नाही. अणुगर्भाच्या रचनेची ही नवीन उपपत्ती स्वीकारताना, आणखी कितीतरी गोष्टींचा विचार करणे भाग होते. मार्गातील काही अडचणी दूर केल्या तर नवीन अडचणी उद्‌भवत होत्या, व त्यांचेही निराकरण करणे भाग होते. अणूमधून ऋणकण कसे बाहेर पडतात याचे स्पष्टीकरण देणे एक कठीण काम होते, कारण नवीन उपपत्तीप्रमाणे अणुगर्भात ऋणकण मुळीच नसतात. अणु-गर्भातील शून्यकण व धनकण कोणत्या बळामुळे एकत्र राहातात हेही सांगणे आवश्यक होते. जुन्या उपपत्तीप्रमाणे अणुगर्भात धनकण व ऋणकण असतात. धनकणावरील धनविद्युतभारामुळे त्यांना ऋणविद्युतभारवाही ऋणकणाबद्दल आकर्षण असते व या आकर्षणामुळे धनकण व ऋणकण एकत्र राहातात असे सांगता येत होते.

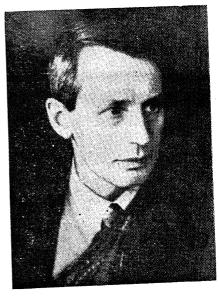
अणुगर्भाच्या रचनेचा प्रश्न आता समाधानकारक सुटला आहे असे अजूनही म्हणता येत नाही. पण एक गोष्ट मात्र मान्य झाली आहे. अणुगर्भाबाहेर जेवढे ऋणकण असतात तेवढे धणकण अणुगर्भात असतात व अणुगर्भाचा भार पुरा करतील इतके शून्यकण त्यात असतात. लिथियमच्या दोन एकस्थानीसाठी $^{6}_{3}\mathrm{Li}$, व $^{7}_{3}\mathrm{Li}$ अशा संज्ञा हल्ली वापरतात. त्याचा अर्थ लिथियमच्या पहिल्या एक-

स्थानीच्या अणुगर्भात ३ धनकण व ६ – ३ = ३ शून्यकण आहेत. तर लिथियमच्या दुसऱ्या एकस्थानीच्या अणुगर्भात ३ धनकण व ७–३ = ४ शून्यकण आहेत. मूलतत्त्वाच्या निरनिराळ्या एकस्थानीत फरक असतो, तो त्या मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भातील शून्यकणांच्या संख्येत.

चॅडविकच्या संशोधनामुळे अणुरचनेच्या तात्त्विक विचारसरणीत बदल झालाच, शिवाय प्रयोगतंत्रात बदल झाला तो वेगळाच. शून्यकणावर अजिबात विद्युतभार नसल्याने ते अणुगर्भाकडून मागे लोटले जाण्याची शक्यता नाही. त्यामुळे अणूचे विघटन घडवून आणण्यासाठी त्यांचा खूप उपयोग केला आहे. या विषयीची जास्त माहिती अन्‌रिको फर्मीच्या संशोधनाची माहिती देताना देण्यात येईल.

व्हिक्टर फ्रान्सिस हेस

कार्ल डेव्हिड अँन्डरसन

क्लिन्टन जोसेफ डेव्हीसन

जॉर्ज पेजेट थॉमसन

१९३६

व्हिक्टर फ्रान्सिस हेस

(१८८३-   )

"विश्वकिरणांच्या शोधाबद्दल नोबेल पारितोषिक"

चरित्र

१४ जून १८८३ रोजी, ऑस्ट्रियाच्या स्टायरिया प्रांतातील ग्राझ शहराजवळील श्लॉस वाल्डस्टीन या गावात व्हिक्टर फ्रान्सिस हेसचा जन्म झाला. १८९३ पासून १९०१ पर्यन्त त्याने ग्राझ येथील जिम्नॅशियममध्ये शालेय शिक्षण घेतले. १९०१ ते १९०५ ही चार वर्षे त्याने ग्राझ विद्यापीठात विश्वविद्यालयीन शिक्षण घेतले. १९०५ ते १९०८ ही तीन वर्षे त्याने व्हिएन्ना विद्यापीठात काढली. १९०६ साली त्याने ग्राझ विद्यापीठाची पीएच्. डी. पदवी संपादन केली. विशेष उल्लेखनीय विद्यार्थी असे शिफारसपत्र त्याला त्या पीएच्. डी. पदवीबरोबर मिळाले होते.

१९१० ते १९२० ही दहा वर्षे त्याने व्हिएन्ना ॲकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेने नव्याने स्थापन केलेल्या रेडीयम संशोधन केन्द्रात काढली. या काळात त्याने रेडीयमच्या विविध गुणधर्मासंबंधी संशोधन केले, व शिक्षक म्हणून काम करण्याची व्हिएन्ना विद्यापीठाकडून परवानगी मिळविली. १९२० मध्ये ग्राझ विद्यापीठाने त्याची प्राध्यापक म्हणून नेमणूक केली. १९२१ साली मुद्दाम रजा काढून तो अमेरिकेला गेला व १९२१ ते १९२३ ही दोन वर्षे त्याने युनायटेड स्टेट्स रेडीयम कार्पोरेशनच्या संशोधन प्रयोगशाळेचा संचालक म्हणून काम केले. प्रयोगशाळेचा संचालक म्हणून कार्य करीत असतानाच, तो वॉशिंग्टनमधील ब्युरो ऑफ माइन्सचा (खाण खात्याचा) सल्लागार भौतिकीशास्त्रज्ञ होता. १९२३ मध्ये ग्राझला परत येऊन त्याने पुन्हा प्राध्यापकीय जीवनाला सुरवात केली. १९२५ मध्ये ग्राझ विद्यापीठाने त्यास प्रायोगिक भौतिकीशास्त्राचा प्रमुख प्राध्यापक नेमले. १९३१ मध्ये इन्सब्रुक या ऑस्ट्रियन शहरात नव्याने सुरू केलेल्या रेडीएशन रिसर्च इन्स्टिटयूटचा प्रमुख व भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक अशी त्यास नेमणूक मिळाल्याने तो इन्सब्रुक शहरी राहायला गेला. १९३८ मध्ये न्यूयॉर्कमधील फोर्डहॅम विद्यापीठाने त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापकम्हणून नेमल्यानंतर तो अमेरिकेत राहू लागला व तेथेच त्याचे उर्वरित आयुष्य गेले.

अमेरिकन फिझिकल सोसायटीचे व व्हिएन्नाच्या सायन्स ॲकेडमीचे सभासदत्व त्यास मिळाले आहे. फोर्डहॅम विद्यापीठाने त्यास माननीय एस्‌सी. डी. पदवी देऊन आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

किरणोत्सर्ग व वातावरणातील विद्युतभार या दोन विषयात हेसने विशेष संशोधन केले. काही ठराविक वजनाच्या रेडीयममध्ये उष्णतानिर्मिती कशी होते याविषयी त्याने १९१२ मध्ये संशोधन केले. काही ठराविक वजनाच्या रेडीयममधून ठराविक वेळात उत्सर्जित होणाऱ्या अल्फा कणांची संख्या किती असते हे ठरविण्यासाठी त्याने १९१८ मध्ये संशोधन केले. वातावरणाची विद्युतवहनक्षमता अभ्यासणे हे त्याच्या वातावरणातील विद्युतभाराविषयीच्या संशोधनाचे उद्दिष्ट होते. हे संशोधन करता करता, त्याने विश्वकिरणांचा शोध लावला व त्या शोधाबद्दलच त्यास नोबेल पारितोषिक मिळाले.

विद्युत विरोधक पदार्थाचे संपूर्ण आवरण घातलेल्या धातूच्या पट्टीवर विद्युतभार येण्याची तजवीज केली व अशी विद्युत विरोधकात गुंडाळलेली विद्युतभारवाही धातूची पट्टी हवेत ठेवल्यास, तिच्यावरील विद्युतभार भराभर कमी होत असल्याने हवेमध्ये थोडीशी विद्युतवहनक्षमता आहे असा अठराव्या शतकाच्या शेवटच्या दशकात शास्त्रज्ञांचा समज झाला. काहीतरी कारणाने पट्टीवरील विद्युत-भार आपसुक कमी होतो ही कल्पना त्यावेळच्या शास्त्रज्ञांना पटत नव्हती. हवेमध्ये विद्युतवहनक्षमतेचा गुणधर्म आहे की नाही हे शोधून काढण्यासाठी एकोणिसाव्या शतकाच्या उत्तरार्धात बरेचसे प्रयोग करण्यात आले. परंतु त्या प्रयोगातून अस्ति-पक्षी किंवा नातिस्पक्षी निःसंदिग्ध पुरावा मिळाला नाही. १८८० मध्ये सी. व्ही. बॉइज याने केलेल्या प्रयोगामुळे हवेच्या विद्युतवहन क्षमतेबद्दल संशय राहिला नाही. क्वार्टझच्या लांब व बारीक सळीला आणि क्वार्टझच्या तोकडया पण जाड सळीला, सुवर्णपत्र विद्युतमापी जोडून, त्याची परस्परापासून दूर झालेली सुवर्णपत्रे किती वेगाने खाली येतात हे बॉइजने अभ्यासले. क्वार्टझच्या लांब व बारीक सळीला किंवा क्वार्टझच्या तोकडया पण जाड सळीला जोडलेल्या विद्युतमापीची सुवर्णपत्रे सारख्याच वेगाने खाली येतात असे त्यास आढळले. क्वार्टझच्या सळीवरचा विद्युतभार आपसुकच कमी होत असता किंवा त्याला काही कारणाने गळती लागत असती तर तोकडया पण जाड सळीला जोडलेल्या विद्युतमापीची सुवर्णपत्रे झपाटयाने खाली यायला पाहिजे होती. तेव्हा सळीवरच्या विद्युतभाराला गळती लागत नाही व हवेच्या विद्युतवहन क्षमतेमुळे क्वार्टझच्या सळीवरील विद्युतभार कमी होतो असे ठरले.

एकोणिसाव्या शतकाच्या शेवटास याच विषयासंबंधी जे. एल्स्टर व एच्. एफ्. गीटेल यानी पुन्हा एकदा संशोधन केले. सुवर्णपत्र विद्युतमापीवर त्यानी अशा तऱ्हेचे संपूर्ण आवरण घातले की विद्युतमापीतील हवा जरासुद्धा बाहेर पडत नव्हती की बाहेरची हवा आत प्रवेश करू शकत नव्हती. तरीसुद्धा विद्युतमापीची दुरावलेली सुवर्णपत्रे अस्ते अस्ते खाली आली. तेव्हा हवेमध्ये विद्युतवहनक्षमतेचा गुणधर्म आहे हे निःसंशय सिद्ध झाले.

सीलबंद केलेल्या पात्रातील हवेच्या विद्युतवहन क्षमतेचा सी. टी. आर. विल्सनने १९०० साली पद्धतशीर अभ्यास केला. विद्युतविरोधकात शक्य असलेल्या बारीक सारीक दोषावर उपाय म्हणून त्याने विद्युतमापी ज्यावर ठेवला होता त्या विद्युतविरोधक पदार्थाला एक धातुपट्टी जोडून ती त्याने सुवर्णपत्रविद्युतमापीच्या

सुरवातीच्या विद्युतविभवाला ठेवली होती. विद्युतविरोधकात दोष उत्पन्न झाल्यास विद्युतमापीवर एकच परिणाम दिसून आला असता. हवेतून विद्युतवहन झाल्याने विद्युतमापीच्या सुवर्णपत्रांचे विद्युतविभव कमी झाल्यास, विद्युतविरोधकातील दोषामुळे सुवर्णपत्रामध्ये विद्युत येऊ लागेल. विद्युतमापीची सुवर्णपत्रे मंद गतीने का होईना खाली येतात त्यावरून हवेमध्ये विद्युतवहनक्षमतेचा गुणधर्म असल्याचे सिद्ध झाले. हवा विद्युतवहनक्षम असते एवढेच नाही तर आपली विद्युतवहनक्षमता ती खूप वेळपर्यन्त टिकवू शकते हेही सी. टी. आर. विल्सनने सिद्ध केले.

या सुमारास म्हणजे १९०० च्या सुमारास वायूंच्या विद्युतवहन क्षमतेविषयी आणखी एक माहिती उपलब्ध झाली. वायुमधून क्षकिरण जाऊ दिले किंवा किरणोत्सर्गी मूलतत्वातून बाहेर पडणारे किरण जाऊ दिले तर वायूमध्ये विद्युतवहनक्षमतेचा गुणधर्म येतो असे आढळले. या प्रकारचे स्पष्टीकरण जे. जे. थॉमसनने दिले. क्षकिरणामुळे किंवा किरणोत्सर्गामुळे वायुरेणूचे विभाजन होऊन, धन व ऋण विद्युतभारवाही आयन तयार होतात असे थॉमसनचे म्हणणे होते. पण एकदा आयनीकरण झालेला वायू तसाच राहू दिला व त्यावर क्षकिरणांचा किंवा किरणोत्सर्गाचा परिणाम होत नाही असे झाले तर तयार झालेले आयन परस्पराशी संयोग पावून मूळचा वायुरेणू तयार होतो आणि वायूमध्ये दिसू लागलेली विद्युत-वहनक्षमता नाहीशी होते. तेव्हा या प्रयोगाने असे ठरत होते की हवेतील किंवा पृथ्वीच्या पोटातील किरणोत्सर्गी पदार्थातून बाहेर पडणाऱ्या किरणामुळे हवेमध्ये विद्युतवहनक्षमता येते. रदरफोर्डने १९०३ मध्ये केलेल्या एका प्रयोगामुळे या कल्पनेला दुजोरा मिळाला. बंद पात्राभोवती शिशाच्या पत्र्याचे सर्व बाजूने आवरण घातले तर त्या पात्रातील हवेचे आयनीकरण तीस टक्क्याने कमी होते. आवरणा-साठी वापरलेल्या शिशाच्या पत्र्याची जाडी वाढवत नेल्यास,आयनीकरण जास्त कमी व्हावे अशी अपेक्षा होती व ती अपेक्षा शिशाच्या दोन इंच जाडीपर्यन्त खरी ठरली. पण दोनइंचाहूनही जास्त जाडीचा शिशाचा पत्रा वापरला तरी हवेची विद्युतवहन-क्षमतातीस टक्क्याहून जास्त कमी होत नव्हती. किरणोत्सर्गी पदार्थातून α, β व γ (अल्फा, बीटा व गॅमा) असे तीन तऱ्हेचे किरण बाहेर पडत असतात. त्यापैकी फक्त गॅमा किरण दोन इंचाहून जास्त जाडीच्या पत्र्यातून पलीकडे जाऊ शकतात. तेव्हा असा निष्कर्ष निघत होता की गॅमा या भेदक किरणामुळे बंद पात्रातील हवेचे बहुतांशाने आयनीकरण होत असावे व बंद पात्राच्या बाजूमध्ये सूक्ष्म प्रमाणात असणाऱ्या किरणोत्सर्गी पदार्थामुळे हवेच्या आयनीकरणास थोडया प्रमाणात मदत होत असावी. त्यानंतर झालेल्या संशोधनाने या निष्कर्षास पुष्टी मिळत गेली. बंद

पात्रातील हवेचे आयनीकरण समुद्रसपाटीला जमिनीवर जितके असते त्यापेक्षा ते गोठलेल्या सरोवरावर व समुद्रावर बरेच कमी असते असे आढळले. त्याउलट बंद पात्रातील हवेच्या आयनीकरणाचे अचूक मापन केल्यानंतर, हवेचे आयनीकरण फक्त गॅमा किरणामुळेच होते की काय याबद्दल शंका निर्माण झाली.

हवेच्या आयनीकरणाविषयी जास्त माहिती मिळविण्यासाठी समुद्रसपाटीवर होणारे हवेचे आयनीकरण व समुद्रसपाटीपासून तीनशे मीटर किंवा त्याहून अधिक उंचीवर होणारे हवेचे आयनीकरण यांची तुलना करणे जरूर होते. तीनशे मीटर हवेतून प्रवास करता करता गॅमा किरणांचे शोषण होते असे माहीत झाल्याने, पृथ्वीतलापासून निघणारे गॅमा किरण तीनशे मीटरहून जास्त उंचीवर पोचणार नाहीत व त्या किंवा त्याहून अधिक उंचीला हवेचे आयनीकरण कमी व्हावे किंवा अजिबात असू नये असे अपेक्षित होते. प्रत्यक्ष प्रकार या अपेक्षेप्रमाणे आहे की नाही हे ठरविण्यासाठी १९१० मध्ये टी वुल्फ याने पॅरिसमधील तीनशे मीटर उंचीच्या ईफेल स्तंभाच्या तळाशी व शीर्षभागी असलेल्या हवेच्या आयनीकरणाचे मापन केले, तेव्हा स्तंभाच्या तळाशी असलेल्या हवेच्या आयनीकरणापेक्षा स्तंभाच्या शीर्ष-भागी असलेल्या हवेचे आयनीकरण पन्नासाहून अधिक टक्के असल्याचे आढळले. पृथ्वीतळातून होणाऱ्या किरणोत्सर्गामुळे हवेचे आयनीकरण होत असते असे मानल्यास, स्तंभाच्या शीर्षभागी असलेल्या हवेचे आयनीकरण अपेक्षिल्यापेक्षा जास्तच होते. ईफेल स्तंभाच्या लोखंडी पट्ट्यावर हवेतील किरणोत्सर्गी पदार्थ बसल्याने स्तंभाच्या शीर्षभागी असलेल्या हवेचे आयनीकरण होत असावे असे एक कारण सांगता येत होते. तेव्हा उंचीवरील हवेच्या आयनीकरणाच्या मापनासाठी विद्युतमापी बलूनमधून वर नेला पाहिजे असे ठरले. हा प्रयोग १९०९ सालीच झाला होता. तेव्हा तेराशे मीटर उंचीवरील हवेचे आयनीकरण समुद्रसपाटीवरील हवेच्या आयनीकरणाच्या एकचतुर्थांशाइतके असल्याचे आढळले होते. पण हा प्रयोग करताना विद्युतमापीची काहीशी मोडतोड झाल्याने हा प्रयोग पुन्हा नव्याने करणे भाग होते. १९१० व १९११ साली अे. गॉकेल याने विद्युत-मापी बरोबर घेऊन स्वित्झरलंडमध्ये बलूनमधून उड्डाणे केली, व पंचेचाळीसशे मीटर उंचीपर्यन्तच्या हवेचे क्रमवार आयनीकरण मोजले. तेव्हा जमिनीपासून उंचीवर जाऊ लागले की हवेचे आयनीकरण कमी कमी होत जाते असेच आढळले. पण पृथ्वीतलापासून होणाऱ्या किरणोत्सर्गामुळेच हवेचे आयनीकरण होत असल्यास, हवेचे आयनीकरण उंचीप्रमाणे जितके कमी व्हायला पाहिजे होते तितके ते होत नव्हते. अपेक्षिल्यापेक्षा हवेचे जास्त आयनीकरण आहे असे गॉकेलला आढळले.

परंतु गॉकेलने वापरलेली उपकरणे सदोष असल्याने त्याचे निष्कर्ष विश्वासार्ह नाहीत असे ठरले.

वुल्फने ईफेल स्तंभाच्या तळाशी व शीर्षभागी असलेल्या हवेचे आयनीकरण मोजण्याच्या प्रयोगाचा वृत्तांत वाचल्यावर आपणही अशाच प्रकारचे प्रयोग करून पहावे असे हेसला वाटले. तोपर्यन्त झालेल्या प्रयोगाच्या वृत्तांताच्या अभ्यासावरून हवेच्या आयनीकरणाचे कारण काहीतरी अज्ञात आहे असे त्यास वाटत होते. पृथ्वीतलापासून निघालेल्या गॅमा किरणामुळे किती उंचीवरच्या हवेचे आयनीकरण होऊ शकते याचे अचूक मोजमापन करणे हे त्याने आपल्या प्रयोगांचे पहिले उद्दिष्ट ठरविले. त्याने आपले प्रयोग व्हिएन्नाला केले व गॅमा किरण मिळवण्यासाठी दीड ग्रॅम रेडीयम वापरले. जमिनीपासून पाचशे मीटर उंचीवर जाईपर्यन्त गॅमा किरण हवेमध्ये पूर्णपणे शोषले जातात असे त्यास आढळले. म्हणजे पाचशे मीटर ऊंची-नंतर, पृथ्वीतलापासून निघालेल्या गॅमा किरणाचा काहीही प्रभाव पडणार नाही, असे त्याने ठरविले. त्यानंतर दाब व तपमान यातील फरकास दाद देणार नाही अशा तऱ्हेची मजबूत उपकरणे तयार करण्याकडे त्याने लक्ष पुरविले. अवश्य त्या मजबुतीची उपकरणे तयार झाल्यानंतर प्रत्येक बलून उड्डाणाबरोबर दोन तीन उपकरण संच नेण्याचा प्रघात त्याने ठेवला. त्यामुळे उपकरणातील बारीक सारीक दोष टाळता येऊ लागले, व चुकून यदाकदाचित एखादे उपकरण ऐनवेळी नादुरुस्त झाल्यास त्याच्या जोडीच्या इतर उपकरणांच्या सहाय्याने काम चालू राहात असे. हेसने १९११ मध्ये दोन बलून उड्डाणे केली, १९१२ मध्ये सात बलून उड्डाणे केली, व १९१३ मध्ये फक्त एक बलून उड्डाण केले. यापैकी पाच उड्डाणे त्याने रात्रीच्या वेळी केली. जसजसे उंचावर जावे तसतशी हवेच्या आयनीकरणातील घट कमी होत जाते व काही ठराविक उंचीपलीकडे हवेचे आयनीकरण झपाट्याने वाढू लागते. पृथ्वीतलापासून कित्येक किलोमीटर उंचीवर हवेचे आयनीकरण पृथ्वी-तलावर असते त्याहून कितीतरी पटीने जास्त असते असे त्यास आढळले. त्यावरून त्याने असा निष्कर्ष काढला की पृथ्वीच्या वातावरणामध्ये बाहेरच्या अवकाशातून काही तरी भेदक किरण येत असतात.

हेसने केलेल्या संशोधनामुळे, हवेचे आयनीकरण या विषयासंबंधी बरेच कुतूहल निर्माण झाले. त्याचे निष्कर्ष मात्र शास्त्रीय जगताने ताबडतोब मान्य केले नाही. १९१४ साली सुरू झालेल्या महायुद्धामुळे त्याच्या संशोधनात खंड पडला. महायुद्ध संपल्यानंतर, युरोपीय राष्ट्रात व अमेरिकेमध्ये हवेचे आयनीकरण व

अवकाशातून येणारे भेदक किरण याविषयी संशोधनास सुरवात झाली. अव-काशातून भेदक किरण पृथ्वीच्या वातावरणात येत असतात या हेसच्या निष्कर्षास लवकरच मान्यता मिळाली. हेस ज्याना अवकाशातून येणारे भेदक किरण या नावाने संबोधत होता, त्याना मिलिकन या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने १९२५ मध्ये कॉस्मिक रेज किंवा विश्वकिरण असे नाव ठेवले. मिलिकनने ठेवलेले ' विश्वकिरण ' हे नाव शास्त्रज्ञांच्या पसंतीस उतरल्याने ' विश्वकिरण ' हेच नाव सध्या रूढ आहे. अवकाशातून जास्त भेदक असे विश्वकिरण येत असतात असे ठरल्यानंतर दोन प्रश्न शास्त्रज्ञापुढे उभे राहिले. या विश्वकिरणांची उत्पत्ती कोठे होत असते आणि त्या विश्वकिरणात कोणत्या गोष्टी अंतर्भूत आहेत ? नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर द्यायच्या व्याख्यानात या प्रश्नांचे उत्तर देण्याचा हेसने प्रयत्न केला. त्याने पारितोषिकाचा स्वीकार केला त्यावेळी त्याचे व्याख्यान तयार होते. पण थोड्याच दिवसापूर्वी घशावर शस्त्रक्रिया केल्याकारणाने हेसला ते व्याख्यान देणे शक्य झाले नाही. जर्मन भाषेत तयार केलेल्या त्या व्याख्यानात हेसने विश्व-किरणासंबंधी १९३६ पर्यन्त झालेल्या संशोधनाचा आढावा घेतला आहे. १९४० मध्ये त्याने फोर्डहॅम विद्यापीठाच्या ' थॉट ' किंवा ' विचार ' या त्रैमासिकात आपल्या संशोधनाबद्दल जास्त माहिती दिली आहे. त्या त्रैमासिकातील लेखावरून पुढील माहिती हेसच्याच शब्दात दिली आहे.

" बरीचशी बलून उड्डाणे केल्यानंतर, १९१२ मध्ये मी असे दाखवून दिले की पृथ्वीतलापासून उंचावर जाऊ लागल्यावर पृथ्वीतलातील किरणोत्सर्गी पदार्थांचा परिणाम कमी होऊ लागल्याने, सीलबंद केलेल्या पात्रातील हवेचे आयनीकरण पृथ्वीतलापासून उंचावर गेल्यावर कमी होते. परंतु एक हजार मीटर उंचीवर गेल्यानंतर हवेचे आयनीकरण, पृथ्वीतलापासूनच्या उंचीप्रमाणे वाढू लागते आणि पाच किलोमीटर उंचीवर गेल्यावर हवेचे आयनीकरण पृथ्वीतलावर जितके असते त्याच्या कितीतरी पट असते. त्यावरून मी असा निष्कर्ष काढला की पृथ्वीभोवतालच्या अवकाशातून पृथ्वीच्या वातावरणामध्ये जास्त भेदक शक्तीचे अद्यापपर्यन्त अज्ञात असलेले किरण येत असतात व त्यांच्यामुळे विशेष लक्षात यावे अशा प्रकारचे हवेचे आयनीकरण होत असते. हे भेदक किरण कोठे उत्पन्न होतात हे शोधण्याचा मी प्रयत्न केला. त्यासाठी १२ एप्रिल १९१२ या जवळ जवळ संपूर्ण सूर्यग्रहणाच्या दिवशी मी मुद्दाम बलूनोड्डाण केले, व पृथ्वीतलापासून दोन ते तीन किलोमीटर उंचीवर जाऊन हवेचे आयनीकरण मोजले. सूर्यग्रहणाच्या वेळी सुद्धा हवेच्या आयनीकरणात घट झाल्याचे दिसून आले नाही. त्यावरून मी असा निष्कर्ष काढला की फक्त सूर्य हाच विश्वकिरणांचे एकमेव उत्पत्तीस्थान नाही.

येथे तेथे न वळता थेट पृथ्वीच्या वातावरणात प्रवेश करणाऱ्या विश्वकिरणांच्या बाबतीत तरी हे विधान लागू पडते.

या विश्वकिरणांच्या तीव्रतेत फेरबदल होत असतात असे मी १९२२ सालीच ध्वनीत केले होते. आता जास्त कार्यक्षम उपकरणे वापरून विश्वकिरणांच्या तीव्रतेतील फेरबदलांचा काळजीपूर्वक अभ्यास झाला आहे. अवकाशाच्या एका विशिष्ट भागात हे विश्वकिरण निर्माण होत असतात असे मत काही शास्त्रज्ञानी १९२३ ते १९२७ या काळात व्यक्त केले होते. परंतु त्यानंतर झालेल्या संशोधना-वरून हे मत बरोबर नाही असे आढळून आले आहे.

विश्वकिरणांच्या तीव्रतेतील फेरबदलांचे सतत टिपण ठेवण्याच्या उद्देशाने मी १९३१ मध्ये, ऑस्ट्रियातील इन्सब्रुक शहराजवळील हाफेलेकर पर्वतावर तेवीसशे मीटर उंचीवर एक लहानशी प्रयोगशाळा उभी केली. त्या प्रयोगशाळेत केलेल्या टिपणांचा मी आता थोडक्यात उल्लेख करणार आहे. विश्वकिरणांच्या तीव्रतेतील फेरबदल सूर्य मध्यानीस येतो त्यावेळी जास्त असतात. पण इतर वेळीही ते चालूच असतात. पृथ्वीच्या वातावरणातील उंचीवरच्या थरातील वैद्युती व चुंबकीय परिणामामुळे विश्वकिरणांच्या तीव्रतेत फेरबदल घडून येतात असे आढळले आहे. रात्रीच्यावेळी विश्वकिरणांच्या तीव्रतेत फार थोडे फरक दिसून येतात. त्यामुळे एक वर्षापूर्वी प्रो. ए. एच्. कॉम्प्टन यानी मांडलेल्या उपपत्तीस दुजोरा द्यावा असे मला वाटते. आपल्या आकाशगंगेपलीकडच्या व तीपासून खूप अंतरावर असलेल्या अवकाशातून विश्वकिरण पृथ्वीवर येत असतात अशी उपपत्ती प्रोफेसर कॉम्प्टन यानी मांडली आहे.

काउंटिंग ट्यूक (गणक नलिका) व आयोनायझेशन चेंबर (आयनीकरण पात्र) यासारखी उपकरणे एक सहाशे मीटर उंचीवर व दुसरे त्यापासून सहा किलोमीटर अंतरावर आणि तेवीसशे मीटर ऊंचीवर ठेवून, विश्वकिरणांच्या तीव्रतेचा अभ्यास केल्यास, दोन्ही उपकरणात एकाचवेळी तीव्रता-बदल घडून येत असल्याचे दिसून येते.

विश्वकिरणांचे उत्पत्तीस्थान कोणते व त्यात कोणते किरण सामावले आहेत या दोन प्रश्नाशी निगडीत अशा कित्येक गोष्टींची माहिती आपल्याला कशी मिळवता येईल? ती माहिती मिळविण्यासाठी खूप द्रव्याची आवश्यकता आहे.

भरपूर द्रव्य उपलब्ध झाले तर अवश्य तितके उपकरण साहित्य विश्वकिरणांच्या संशोधनासाठी वापरता येईल.

स्वयंटिपण करणारी उपकरणे बलूनमधून पंचवीस किलोमीटर किंवा त्याहून जास्त उंचीवर पाठवून त्यांच्या सहाय्याने हवेच्या आयनीकरणाचा अभ्यास करण्याची पद्धत स्टटगार्टचे प्रोफेसर रिजनर यानी शोधून काढली. त्या पद्धतीत आणखी काही सुधारणा केल्यास ती पद्धत यशस्वीरीत्या हाताळता येईल. त्याबरोबर अमेरिकेत बऱ्याचवेळा यशस्वीरीत्या वापरलेल्या पद्धतीनेसुद्धा खूपच माहिती मिळेल असा अंदाज आहे. या अमेरिकन पद्धतीत स्ट्रॅटॉस्फियरमधून बलूनचे उड्डाण चालू असता, बलूनमध्ये असलेल्या उपकरणानी टिपलेली माहिती लगेच रेडिओ टेलिग्राफीने किंवा रेडिओ लहरीद्वारा पृथ्वीतळावर येते. यासाठी बलून-बरोबर कोणीही पाठवावे लागत नाही. बलूनवर ठेवलेली उपकरणे हे काम स्वता होऊन करीत असतात. स्ट्रॅटॉस्फियरमधील हवेच्या किरणासंबंधी बरीचशी माहिती गोळा केल्यानंतर विश्वकिरणांच्या स्वरूपाबद्दल काहीतरी बोलता येईल. हे किरण पृथ्वीच्या वातावरणात आल्याबरोबर त्यांची हवेबरोबर विक्रिया होऊन द्वितीयक किरण मिळत असल्याने, हवेच्या आयनीकरणाच्या अभ्यासावरून विश्वकिरणांचे सत्यस्वरूप समजणे कठीण आहे. त्याचप्रमाणे हवेच्या वेगवेगळ्या उंचीला अचानक होणारा आयनांचा वर्षाव व हॉफमन आयनस्फोट यांचाही अभ्यास केल्यास, विश्व-किरणांचे हवेवर काय परिणाम होतात याबद्दल नवी माहिती उपलब्ध होणार आहे. तसेच खाणीमध्ये पृथ्वीतळाच्या खाली बऱ्याच फूट खोलीवर व समुद्राच्या पाण्यात शेकडो फूट खाली आयन वर्षाव व आयनस्फोट होत असतात त्यांच्या अभ्यासातून काही तरी महत्वाची माहिती उपलब्ध होईल असे वाटते.

आपल्याला जेवढी उपकरणे उपलब्ध करता येतील तेवढी सर्व आपण एकाच वेळी व एकमेकांच्या जोडीला वापरली पाहिजेत. अशा तऱ्हेचा प्रयत्न यापूर्वी झालेला नाही. पण तसा प्रयत्न व्हायला पाहिजे असे मला वाटते. विश्वकिरणांच्या अभ्यासासाठी अमेरिकेतील रॉचेस्टर विद्यापीठातल्या प्रोफेसर विल्किन्सनी एक नवीन पद्धत शोधून काढली आहे. विश्वकिरणांचा मार्ग शोधण्यासाठी फोटोग्राफिक इमल्शन वापरून त्यावर तीव्र चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम होऊ दिल्यास, जास्तीत जास्त भेदक किरणांची उर्जा अभ्यासता येते असे प्रो. विल्किन्स यानी दाखवून दिले आहे. प्रो. विल्किन्स यांची फोटोग्राफिक इमल्शन पद्धत फार उपयुक्त ठरावी असे माझे मत आहे. या पद्धतीत आणखी काही सुधारणा करणेही शक्य आहे.

या सर्व विविध प्रकारच्या अभ्यासाबरोबर, विश्वकिरणांचा सजीव सृष्टीवर काय परिणाम होतो याचाही अभ्यास करणे जरूर आहे.

तीव्र चुंबकीय क्षेत्रातील विश्वकिरणांचा मार्ग विल्सन मेघपात्राच्या सहाय्याने अभ्यासल्याने पॉझिट्रॉन कणाचा शोध लागला आहे. ऋणकणाच्या भाराइतका भार व ऋणकणावर असतो तितकाच पण धनविद्युतभार ही पॉझिट्रॉनची वैशिष्ट्ये आहेत. वस्तूमात्रांच्या रचनेत पॉझिट्रॉनचा भाग असणार. पण अद्यापपर्यंत त्या कणाच्या अस्तित्वाची कल्पना आली नव्हती. असा हा पॉझिट्रॉन कण शोधून काढल्याबद्दल प्रोफेसर कार्ल अॅन्डरसन याना नोबेल पारितोषिक मिळाले असून, ह्या वर्षीचे पारितोषिक आम्हा दोघात विभागले गेले आहे.

विश्वकिरणामुळे घडून येणारे आयनवर्षाव व आयनस्फोट यांच्या अभ्यासातून न्यूट्रिनोसारख्या आणखी काही नवीन प्राथमिक कणांचा कदाचित शोध लागेल. अणुरचनेच्या तात्त्विक अभ्यासावरून अणुमध्ये विद्युतभार धारण न करणारे व ऋणकणाच्या भाराहूनही कमी भार असणारे किंवा भार जवळ जवळ नसणारे कण असावेत असे मत भौतिकीशास्त्रज्ञानी व्यक्त केले आहे व त्या कणाला न्युट्रिनो असे नावही दिले आहे. ”

संशोधनाचे परिणाम

विश्वकिरणांचे अस्तित्व संशयातीत रीत्या प्रस्थापित केल्याने, हेसने आधुनिक भौतिकीशास्त्रात एका नवीन संशोधन क्षेत्राची भर घातली आहे. या नवीन संशोधन क्षेत्रात कित्येक नाणावलेले भौतिकीशास्त्रज्ञ सध्या संशोधन करीत आहेत व विश्वकिरणासंबंधीच्या माहितीत नवीन माहितीची भर घालीत आहेत.

— — — —

१९३६

कार्ल डेव्हिड अॅन्डरसन

(१९०५-   )

"पॉझिट्रॉन कणाच्या शोधाबद्दल नोबेल पारितोषिक"

चरित्र

न्यूयॉर्क या प्रख्यात अमेरिकन शहरात ३ सप्टेंबर १९०५ रोजी कार्ल डेव्हिड अॅन्डरसनचा जन्म झाला. पासाडेना येथील कॅलिफोर्निया अिन्स्टिटयूट ऑफ टेक्नॉलॉजी या संस्थेत त्याने भौतिकीशास्त्र व अभियांत्रिकी या दोन विषयांचा अभ्यासक्रम १९२७ मध्ये पुरा केला. याच संस्थेच्या भौतिकीशास्त्राच्या विशेष अभ्यासासाठी खास उघडलेल्या नॉर्मन ब्रिज प्रयोगशाळेचे संचालकपद प्रो. मिलिकन यांच्याकडे होते, व त्याच प्रयोगशाळेत त्यांचे विश्वकिरणाविषयीचे संशोधन चालू होते. १९२७ मध्ये पदवीधर झाल्यावर त्याला कॉफिन संशोधनवृत्ती मिळाली. १९२८ मध्ये त्याचा नॉर्मन ब्रिज प्रयोगशाळेच्या अध्यापक वर्गात समावेश करण्यात आला. १९३० मध्ये त्याने पीएच. डी. पदवी संपादन केली. त्यानंतर भौतिकी-शास्त्र विभागाच्या संशोधनशाखेत त्याची नेमणूक झाली. १९३३ मध्ये सहाय्यक प्राध्यापक, १९३७ मध्ये सह प्राध्यापक व १९३९ मध्ये प्राध्यापक अशा नेमणुका त्यास मिळत गेल्या. अध्यापन व संशोधन या दोन्ही क्षेत्रातील कौशल्यामुळे तो अध्यापन क्षेत्रातील या पायऱ्या भराभर चढून गेला.

न्यूयॉर्कच्या अमेरिकन अिन्स्टिटयूटने त्यास १९३५ मध्ये सुवर्ण पदक अर्पण केले. १९३७ मध्ये अमेरिकेच्या फ्रँकलिन अिन्स्टिटयूटने इलियट क्रेसन पदक अर्पण केले. १९३७ मध्ये कोलगेट विद्यापीठाने त्यास माननीय डॉक्टरेट देऊन आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली. अमेरिकेच्या नॅशनल ॲकेडमी ऑफ सायन्सेस, अमेरिकन फिझिकल सोसायटी व अमेरिकन फिलॉसॉफिकल सोसायटी या तीनही संस्थांचे सभासदत्व त्यास लाभले आहे.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

१९२७ मध्ये ॲन्डरसनने संशोधनाला सुरवात केली तेव्हा त्यावेळी विश्वकिरणांचे सत्य स्वरूप काय हा प्रश्न मुख्यत्वे करून शास्त्रज्ञापुढे होता. विश्वकिरण म्हणजे जलदगतीने जाणारे कण आहेत की अतिशय भेदक तरंगस्वरूपी गॅमाकिरण आहेत याचा निर्णय झाला नव्हता. ते विद्युतभारवाही कण असल्यास, चुंबकीय क्षेत्राचा त्या कणांच्या मार्गावर परिणाम होऊन, त्या मार्गाचे वक्रीभवन व्हायला पाहिजे. चुंबकीय क्षेत्रामुळे विश्वकिरणांचे वक्रीभवन होते की नाही हे ठरविण्याकरिता प्रथमत: विल्सन मेघपात्रपद्धत वापरली गेली होती. पण ती पद्धत फारशी यशस्वी ठरली नाही. विश्वकिरण कणस्वरूपी असल्यास त्या कणाना एवढी उर्जा प्राप्त झाली होती की त्यांच्या मार्गाचे वक्रीभवन घडवून आणण्यासाठी फार मोठे चुंबकीय क्षेत्र वापरणे भाग होते. पण सुरवातीच्या प्रयोगात अवश्य तितके शक्तिशाली चुंबकीय क्षेत्र न वापरल्याने चुंबकीय क्षेत्राचा विश्वकिरणांच्या मार्गावर विशेष काही परिणाम होत नाही असा समज झाला. त्यानंतरच्या प्रयोगावरून विश्वकिरणांची उर्जा कित्येक कोटी अिलेक्ट्रॉन व्होल्ट आहे असे समजून आले आहे. विश्वकिरणांच्या मार्गाचे चुंबकीय क्षेत्रामुळे वक्रीभवन होते की नाही या प्रश्नाचे नक्की उत्तर विल्सनच्या मेघपात्र पद्धतीने मिळत नाही हे पाहिल्यावर, विश्वकिरणासंबंधी मोठ्या प्रमाणावर प्रयोग करण्यासाठी प्रो. मिलिकन यानी पासाडेना येथे उपकरणांची जमवाजमव करायला सुरवात केली आणि प्रयोगांची आखणी व मार्गदर्शन करण्याचे काम त्यानी ॲन्डरसनकडे सोपवले. १९३१ मध्ये उपकरणांची सिद्धता झाल्यानंतर विश्वकिरणांच्या सखोल अभ्यासास ॲन्डरसनने सुरवात केली. विश्वकिरणांच्या मार्गाचे दर पंधरा सेकंदाला रात्रंदिवस फोटोग्राफ काढून त्यांचा अभ्यास सुरू झाला. विश्वकिरणांच्या मार्गाच्या घेतलेल्या हजारो फोटोग्राफमधील काही फोटोग्राफ, इलेक्ट्रॉनच्या भाराइतक्या भाराच्या व एक एकक धनविद्युतभार धारण करणाऱ्या कणांचे अस्तित्व दाखवत होते. हे ॲन्डरसनच्याच

ाब्दात समजावून घेतल्यास फार बरे असे वाटल्याने, अॅन्डरसनच्या नोबेल व्याख्या-
ातला काही भाग येथे उद्धृत केला आहे.

" १९२७ मध्ये स्कोबेलझीन या शास्त्रज्ञाने विश्वकिरणांच्या मार्गाचे फोटो-
ाफ प्रथमत: मिळविले. ते पाहिल्यानंतर मी प्रो. मिलिकन यांच्या मार्गदर्शनाखाली
वेश्वकिरणांच्या अभ्यासासाठी उपयोगी पडेल अशा प्रकारच्या मेघपात्र उपकरणाची
सेद्धता करण्याचे काम हाती घेतले. चांगल्या शक्तिशाली चुंबकीय क्षेत्राचा विश्व-
केरणावर परिणाम घडवून आणून, त्यांच्या मार्गाच्या वक्रीभवनावरून त्यांच्या
ऊर्जेचे मापन करावे असे आम्ही ठरवले होते. आम्ही वापरलेले मेघपात्र १७ ×
१७ × ३ सेन्टीमीटर मापाचे होते व त्यावर २४००० गॉस शक्तीच्या
चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम घडवून आणता येत होता. चुंबकीय क्षेत्र निर्माण
करण्यासाठी वैद्युतीचुंबक वापरला होता व त्या चुंबकातच मेघपात्राचा समावेश
केला होता.

आता वर्णन केलेले मेघपात्र उपकरण वापरून आम्ही १९३१ च्या एप्रिल
महिन्यात विश्वकिरणाच्या अभ्यासाला सुरवात केली. अण्वीय कणांची ऊर्जा
त्यावेळी दीड कोटी इलेक्ट्रॉन व्होल्टपर्यन्त मोजता येत होती. ऊर्जा मोजण्याच्या
पद्धतीत सुधारणा करून, पन्नास कोटी इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा मोजण्यापर्यन्त आम्ही
मजल मारली. १९३२ मध्ये आमच्या संशोधनाचा एक प्राथमिक वृत्तांत आम्ही
प्रसिद्ध केला. त्यामध्ये १० कोटी इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा विश्वकिरणाना असल्याचे
आम्ही नमूद केले होते. विश्वकिरणात ऋण विद्युतभारवाही व धनविद्युतभारवाही
कण जवळजवळ समप्रमाणात असल्याचे आणि या दोन्ही प्रकारच्या कणांचे
उत्पत्तीस्थान एकच असल्याचे आम्हाला आढळले होते. धनविद्युतभारवाही कणांचे
अस्तित्व व तशा कित्येक कणांचा एकदम होणारा वर्षाव यावरून विश्वकिरणांचे
वस्तूमात्रामध्ये शोषण एका नवीन प्रकारच्या अण्वीय प्रक्रियेमुळे होत असते असे
आमचे मत झाले.

विश्वकिरण मार्गाच्या एक एकक मार्गावरील सूक्ष्म बिंदूंची संख्या मोजून,
त्यावरून हवेच्या विशिष्ट आयर्नीकरणाचा अभ्यास केल्यास असे दिसते की विश्व-
किरणातील धन व ऋणविद्युतभार धारण करणाऱ्या कणावर प्रत्येकी एक एकक
विद्युतभार असतो. ऋणविद्युतभारवाही कण म्हणजे इलेक्ट्रॉन किंवा ऋणकण असा
अर्थ आम्ही चटकन लावला. धनविद्युतभारवाही कण म्हणजे प्रोटॉन किंवा धनकण

असावेत असा अर्थ आम्ही त्यावेळी लावला, कारण धनविद्युतभार धारण करणारे प्रोटॉनच किंवा धनकणच त्यावेळी माहीत होते.

विश्वकिरणातील धनविद्युतभारवाही कण म्हणजे प्रोटॉन किंवा धनकण असे मान्य करण्यात काही अडचणी होत्या. कमी ऊर्जा असलेल्या व चुंबकीय क्षेत्रात जास्त वक्रीभवन पावणाऱ्या धनकणामुळे, ऋणकणामुळे जितके आयनीकरण होते त्याहून जास्त आयनीकरण व्हायला पाहिजे होते. परंतु विश्वकिरणातील ऋण विद्युतभारवाही कण व धनविद्युतभारवाही कण यांच्या गुणधर्मात फारसा फरक असल्याचे दिसून येत नव्हते. त्यामुळे विश्वकिरणातील धनविद्युतभारवाही कणांचा भार ऋणकणांच्या भाराइतका आहे असे म्हणणे त्यावेळी फार धाष्टर्याचे ठरले असते. अवकाशातून पृथ्वीतलाकडे येणारे धनविद्युतभारवाही कण मूळात ऋणकण असून ते पृथ्वीतलातून वर अवकाशाकडे जात असता, विखुरले जाऊन त्यांच्या जाण्याच्या मार्गाची दिशा उलट होते, ते पृथ्वीतलाकडे येऊ लागतात व पृथ्वीतलाकडे येता येता त्यावरील विद्युतभार ऋणाऐवजी धन होतो अशी एक कल्पना होती. ही कल्पना शक्य कोटीत आहे का नाही याचाही आम्ही विचार केला. विखुरल्यामुळे ऋणकण जाण्याच्या मार्गाची दिशा क्वचित प्रसंगी उलट होते ही कल्पना शक्य कोटीतली वाटत असली तरी अत्यंत कमी आयनीकरण दाखवणाऱ्या कणांची संख्या इतकी मोठी होती की ते कण धनकण असावेत हे मान्य करता येत नव्हते.

धनविद्युतभारवाही व ऋणविद्युतभारवाही कणामधला भेद नि:संशय स्पष्ट करण्यासाठी ते कण जाण्याची दिशा ठरविणे भाग होते. ते करण्याकरिता, मेघ-पात्राच्या मध्यभागी आम्ही शिशाचा जाड पत्रा वापरला. शिशाच्या पत्र्यातून उर्जेत घट झाल्यावर पत्र्याच्या दुसऱ्या बाजूस बाहेर पडणाऱ्या कमी उर्जेच्या व चुंबकीय क्षेत्रात जास्त वक्रीभवन पावणाऱ्या कणांच्या मार्गाची दिशा निश्चितपणे ठरवता येत होती.

कमी उर्जेच्या कणांच्या मार्गाचा अभ्यास केल्यानंतर, धनविद्युतभारवाही कणांचा भार ऋणकणांच्या भाराइतका आहे. व त्यावरील विद्युतभार ऋणकणा-वरील विद्युतभाराइतकाच पण धन आहे असे ठरले. आम्ही घेतलेल्या एका फोटो-ग्राफमध्ये, धनविद्युतभारवाही कणाने सहा मिलीमीटर जाडीच्या शिशाच्या पत्र्यातून मार्ग क्रमल्याचे दिसत होते. या कणाचा भार ऋणकणांच्या भाराइतका आहे असे म्हटल्यास, शिशाच्या पत्र्यात प्रवेश करण्यापूर्वी त्याची ऊर्जा त्रेसष्ट

दशलक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट होती, व शिशाच्या पत्र्यातून बाहेर पडल्यावर ती तेवीस दशलक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट होते. धनविद्युतभारवाही कणाने क्रमलेल्या मार्गाची लांबी व चुंबकीय क्षेत्रामुळे त्या मार्गाचे होणारे वक्रीभवन यांच्या अभ्यासावरून हे कण प्रोटॉन किंवा धनकण नाहीत असे म्हणावे लागते. धनविद्युतभारवाही कणांच्या मार्गात जेवढे वक्रीभवन होते तेवढेच वक्रीभवन प्रोटॉनच्या किंवा धनकणांच्या मार्गात झाल्यास, अशा धनकणाची ऊर्जा दोन लाख इलेक्ट्रॉन व्होल्ट असायला पाहिजे व इतकी ऊर्जा असलेला धनकण फक्त पाच मिलीमीटर इतका मार्ग क्रमू शकेल. तर त्या उलट आम्ही अभ्यासलेला कण पन्नास मिलीमीटरपर्यंत जाऊ शकत होता. तेव्हा यावरून एकच निष्कर्ष निघत होता व तो म्हणजे विश्वकिरणातील धनविद्युतभार धारण करणारे ते इलेक्ट्रॉन असावेत. अशा कणांचा भार इलेक्ट्रॉनच्या भाराइतका व विद्युतभारसुद्धा इलेक्ट्रॉनवरील विद्युतभाराइतका पण धनस्वरुपाचा असणार. एकाच उत्पत्तीस्थानापासून एकाचवेळी दोन किंवा अधिक अशा प्रकारचे कण मिळत असल्याची किती तरी उदाहरणे आम्हाला आढळली. या कणावर धनविद्युतभार होता. आणि त्यांचा भार प्रोगॉनच्या भाराहून खूप कमी होता. या अभ्यासाच्या आधारावर आम्ही १९३२ च्या सप्टेंबर महिन्यात एक संशोधन निबंध प्रसिद्ध केला व प्रोटॉनहून भिन्न स्वरुपाच्या धनविद्युतभारवाही कणांचे अस्तित्व सिद्ध केले.

चुंबकीय क्षेत्रात भरपूर वक्रीभवन होत असण्याइतकी कमी ऊर्जा असलेल्या धन व ऋण विद्युतभारवाही इलेक्ट्रॉनच्या विशिष्ट आयनीकरणाचे सूक्ष्म बिंदू मोजण्याच्या पद्धतीने मापन केल्यानंतर असे समजून आले की धनविद्युतभारवाही इलेक्ट्रॉनचा भार आणि ऋणविद्युतभारवाही इलेक्ट्रॉनचा भार यात वीस टक्क्याहून जास्त व दोन्ही प्रकारच्या इलेक्ट्रॉनवरील विद्युतभार यात दहा टक्क्याहून जास्त फरक नाही.

ब्लॅकेट व ऑछियालिनी यानी आमच्या सारखेच उपकरण तयार केले असून गायगर मुल्लर गणक नलिकांच्या सहाय्याने त्यांचे नियंत्रण करता येते. त्या उपकरणातून विश्वकिरण गेल्यास त्याची आपोआप नोंद होत असते. हे उपकरण वापरून ब्लॅकेट व ऑछियालिनी यानी धन विद्युतभारवाही इलेक्ट्रॉन-त्यानाच आम्ही पॉझिट्रॉन असे नाव दिले आहे—या कणांचे अस्तित्व नक्की केले आहे. याशिवाय जटिल स्वरूपाच्या इलेक्ट्रॉन वर्षावाचेही त्यानी सुंदर चित्रण केले आहे.

विश्वकिरणांच्यामुळे पॉझिट्रॉनची निर्मिती होत असते, तशीच इतर प्रकारेही होत असते, असे चॅडविक, ब्लॅकेट व ऑछियालिनी यानी सिद्ध केले आहे.

बेरिलियमवर अल्फा कणांचा मारा केल्यास, बेरिलियममधून होणाऱ्या किरणोत्सर्गात पॉझिट्रॉन असतात असे या तिघा शास्त्रज्ञाना आढळून आले आहे. अल्फा-कणांचा मारा केल्यावर बेरिलियममधून होणाऱ्या जटिल किरणोत्सर्गात न्यूट्रॉन किंवा शून्यकण आणि गॅमा किरण असतात. या दोहोपैकी कोणत्या कणामुळे किंवा किरणामुळे पॉझिट्रॉनची निर्मिती होत असते हे या शास्त्रज्ञाना ठरवता आले नाही. क्युरी व ज्योलिओ यानी यासारखाच प्रयोग करून बेरिलियममधून बाहेर पडणाऱ्या किरणोत्सर्गाच्या मार्गात शिशाचे व पॅराफिनचे ठोकळे ठेवून त्या किरणोत्सर्गाचे शोषण केले व शून्यकणामुळे पॉझिट्रॉनची निर्मिती होत नसून ती गॅमा किरणामुळे होत असते असा निष्कर्ष काढला.

"थोरियम सी" या मूलतत्त्वामधून बाहेर पडणाऱ्या गॅमा किरणातील जास्त तीव्रतेच्या गॅमा किरणामुळे पॉझिट्रॉनची निर्मिती होत असते या विषयीचा पुरावा मी व बेडरमेयर यानी केलेल्या प्रयोगातून १९३३ साली मिळाला. तशाच प्रकारचे प्रयोग क्युरी व ज्योलिओ यानी फ्रान्समध्ये आणि मेटनर व फिलिप यानी जर्मनी-मध्ये केले व आमचे निष्कर्ष बरोबर असल्याचे सिद्ध केले.

विश्वकिरणातील फोटॉन किंवा प्रकाशकण व इलेक्ट्रॉन यांच्या शोषणामुळे आणि निरनिराळ्या मूलतत्त्वापासून मिळणाऱ्या जास्त ऊर्जा असलेल्या गॅमा किरणांच्या शोषणाने पॉझिट्रॉन निर्मिती होते. त्याप्रमाणे काही किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वांच्या विघटनाच्या वेळी पॉझिट्रॉन निर्मिती होते. १९३४ मध्ये क्युरी व ज्योलिओ यानी तयार केलेल्या कृत्रिम किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वांच्या विघटनाच्यावेळी पॉझिट्रॉन व इलेक्ट्रॉन बाहेर पडतात असे आढळले आहे. ज्या मूलतत्त्वांचा अणु-क्रमांक तितक्याच अणुभाराच्या स्थिरस्वरूपी मूलतत्त्वाच्या अणुक्रमांकाहून जास्त असतो त्या मूलतत्त्वांच्या विघटनाच्या वेळी पॉझिट्रॉन बाहेर पडतात.

डिरॅकने मांडलेल्या इलेक्ट्रॉन उपपत्तीच्या सहाय्याने पॉझिट्रॉनची निर्मिती व विनाश यांचे स्पष्टीकरण देता येते. अणुगर्भाजवळच्या भागात धन व ऋण इले-क्ट्रॉन जोडीची निर्मिती होते असे या उपपत्तीच्या सहाय्याने सांगता येते, असे प्रथमतः ब्लॅकेट व ऑछिलियानी यानी दाखवून दिले. धन व ऋण या दोन्ही प्रकारच्या इलेक्ट्रॉनचा भार व त्यांची ऊर्जा यांचा पुरवठा अणूवर पडणाऱ्या विकिरणाकडून होतो असे या शास्त्रज्ञांचे म्हणणे आहे. एका इलेक्ट्रॉन जोडीच्या भाराशी संबंधित ऊर्जा साधारणपणे दहा लक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट इतकी असल्याने

याहून जास्त उर्जा असणारे गॅमा किरण वस्तुमात्रातून गेल्यावर पॉझिट्रॉनची निर्मिती होते आणि धन व ऋण इलेक्ट्रॉनच्या गतिक उर्जेची बेरीज, हे कण निर्माण करणाऱ्या विकिरणांची उर्जा उणे दहा लक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट असेल अशी अक्षापे करायला हरकत नाही.

थोरीयम सी " या मूलतत्त्वामधून उत्सर्जित होणाऱ्या गॅमा किरणांच्या बाबतीत ही अपेक्षा बरोबर आहे असे मी व वेडरमेयर यानी केलेल्या प्रयोगात आणि चॅडविक, ब्लॅकेट व ऑच्छियालिनी यानी केलेल्या प्रयोगात दिसून आल्याने धन व ऋण इलेक्ट्रॉन जोडी कशी निर्माण होते याविषयीची उपपत्ती बरोबर आहे असे ठरते.

डिरॅकच्या उपपत्तीचा आणखी एक निष्कर्ष आहे. सर्वसाधारण पदार्थातून जात असता, पॉझिट्रॉनचे आयुष्य एक दशकोटयांश सेकंद किंवा त्याहूनही कमी काल असते. धनविद्युतभारवाही पॉझिट्रॉन व ऋणविद्युतभारवाही इलेक्ट्रॉन एकमेकांचा विनाश करतील व त्याऐवजी प्रत्येकी पाच लक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट उर्जा असलेल्या प्रकाशकणांची किंवा फोटॉनची जोडी निर्माण होईल. पॉझिट्रॉनचे आयुष्य नक्की किती असते हे अद्यापी मोजले गेले नसले तरी ते अत्यंत अल्प असते एवढे नक्की. तसेच पॉझिट्रॉनच्या विनाशाने विकिरण निर्मिती होते असेही दिसून आले आहे. पॉझिट्रॉनच्या विनाशाने विकिरणनिर्मिती होते हे प्रथमतः ज्योलिओ व गिबॉ यांच्या प्रयोगात दिसून आले. पॉझिट्रॉनच्या विनाशाने मिळणाऱ्या विकिरणातील प्रकाशकणांची उर्जासुद्धा अपेक्षिल्याप्रमाणे पाच लक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट असते. तेव्हा विकिरणनिर्मितीच्या वेळी पॉझिट्रॉनचा संपूर्ण विनाश होतो हेही आपोआपच ठरते.

विश्वकिरण वस्तुमात्रातून गेल्याने धन व ऋण इलेक्ट्रॉनच्या निर्मितीप्रक्रियेशी संबंधित अशी म्हणजे बरोबर तिच्या उलट प्रकारची धन व ऋण इलेक्ट्रॉन वस्तुमात्रातून गेल्याने विकिरण उत्पत्ती ही प्रक्रिया आता विचारात घ्यायला हरकत नाही.

चाळीस कोटी इलेक्ट्रॉन व्होल्टपर्यन्त उर्जा असलेले इलेक्ट्रॉन शिशाच्या पातळ पत्र्यातून गेल्यास त्यांच्या उर्जेत होणारी घट मोजण्यात आली आहे. त्यावरून असे दिसते की इलेक्ट्रॉनच्या उर्जेच्या घटीपैकी फार थोडा भाग हवेच्या आयनीकरणासाठी वापरला जातो व इलेक्ट्रॉनचा अणुगर्भावर आघात होऊन

विकिरण उत्पत्ती झाल्यास, जितकी उर्जा खर्च व्हावी अशी अपेक्षा आहे, ती एकंदर ऊर्जाघट उणे आयनीकरणामुळे झालेली ऊर्जाघट हिच्या एवढी आहे. याशिवाय शंभर कोटी इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा असलेले इलेक्ट्रॉन शिशाच्या पत्र्यातून जाऊ दिल्यास त्यांच्या ऊर्जेत होणारी घट, तात्त्विक विचारांच्या आधारे अपेक्षिलेल्या ऊर्जाघटी एवढी असते. खूप ऊर्जा असलेले इलेक्ट्रॉन धातूच्या पत्र्यातून जाऊ दिल्यास, त्यांच्या ऊर्जेमध्ये जी घट होते तीवरुन विश्वकिरण वर्षाव निर्मिती कशी होते यावरून काही निष्कर्ष काढता येतात. खूप ऊर्जा असलेले धन व ऋण इलेक्ट्रॉन अणुगर्भावर आदळण्याने प्रकाशकण निर्मिती होते, आणि फोटॉन किंवा प्रकाशकण अणुगर्भावर आदळल्यावर धन व ऋण इलेक्ट्रॉनच्या जोड्या निर्माण होतात. बऱ्याचशा इलेक्ट्रॉन जोड्या एकाचवेळी निर्माण झाल्याने त्याना विश्वकिरण वर्षावाचे रूप येते.

खूप ऊर्जा असलेल्या धन व ऋण इलेक्ट्रॉनचे वस्तुमात्रामध्ये चटकन शोषण होते. त्या ऊर्जावान इलेक्ट्रॉनमध्ये व अत्यंत भेदकशक्ती असलेल्या विश्वकिरणा– मध्ये काही फरक आहे असे अजूनपर्यन्त तरी समजून आलेले नाही. विश्वकिरणा– तील हे भेदक कण म्हणजे मुक्तावस्थेतील धन व ऋण इलेक्ट्रॉन नाहीत तरी त्या कणावर एक एकक विद्युतभार असतो. त्या कणांचा जास्त अभ्यास व्हायला पाहिजे.

ॲन्डरसनच्या नोबेल व्याख्यानाच्या शेवटच्या परिच्छेदात, विश्वकिरणात असलेल्या दुसऱ्या एका निराळ्या कणाचा उल्लेख असून, त्या कणांचे अस्तित्वही त्यानेच शोधून काढले आहे. त्या कणाना त्याने मेसोट्रॉन हे नाव दिले. सध्या मेसोट्रॉन हे नाव मागे पडले असून, त्या कणाना मेसॉन असे म्हणतात. विश्व– किरणामध्ये या भेदक किरणांच्या अस्तित्वाचा पुरावा त्याने केलेल्या प्रयोगात वेळोवेळी मिळाला होता. तरीही त्यांच्या अस्तित्वाविषयीचा उल्लेख त्याने फार जपून सौम्य शब्दात केला आहे. ॲन्डरसनच्या प्रयोगावरून असा निष्कर्ष निघत होता की या कणाचा भार ऋणकणाच्या भाराहून जास्त पण धनकणाच्या किंवा प्रॉटॉनच्या भाराहून कमी आहे. कणाच्या भाराच्या या वैशिष्ट्यावरून, मेसो म्हणजे मध्यम या ग्रीक शब्दावरून तयार केलेले मेसोट्रॉन हे नाव ॲन्डरसनने सुचवले. सध्या वापरात असलेल्या मेसॉन या शब्दाचा अर्थही मध्यम असाच आहे. या मेसॉन कणावर धन किंवा ऋण विद्युतभार असू शकतो हेही त्यानेच शोधून काढले. १९३७ ते १९४१ या चार वर्षांच्या काळात मेसॉनचा भार ठरविण्यासाठी खूप प्रयत्न झाले. प्रत्येकवेळी मेसॉनचा भार वेगवेगळा ठरला. पण सर्वसाधारणपणे

तो इलेक्ट्रॉनच्या भाराच्या दोनशे पट आहे असे ठरले. अणुगर्भातील वेगवेगळे कण एकत्र कसे राहू शकतात याचा तात्त्विक विचार करून, युकावाने १९३५ मध्ये अशा प्रकारच्या कणाचे म्हणजे धन किंवा ऋण विद्युतभारवाही व इलेक्ट्रॉनच्या भाराच्या दोनशे पट भार असणाऱ्या कणाचे अस्तित्व अपेक्षित आहे असे म्हटले होते. आता अशा प्रकारच्या कणांचे अस्तित्व मान्य झाले आहे. धन किंवा ऋण विद्युतभारवाही आणि इलेक्ट्रॉनच्या भाराहून जास्त व प्रोटॉनच्या भाराहून कमी भार असणाऱ्या विविध कणाना मेसॉन या नावाने संबोधतात. याविषयीची जास्त माहिती १९५० सालचे नोबेल पारितोषिक मिळविणाऱ्या सेसिल पॉवेलच्या चरित्रात दिली आहे.

संशोधनाचे परिणाम

हेसच्या संशोधनामुळे सुरू झालेल्या विश्वकिरण संशोधन क्षेत्रात उल्लेखनीय कामगिरी करुन, ॲन्डरसनने तोपर्यन्त अज्ञात असलेल्या पॉझिट्रॉन व मेसॉन या दोन कणांचा शोध लावला. पॉझिट्रॉन व मेसॉन कणांचे अस्तित्व शक्यतेच्या कोटीत आहे असे तात्त्विक भौतिकीशास्त्रज्ञ म्हणत असत. प्रत्यक्ष शोध मात्र ॲन्डरसनने लावला. वस्तुमात्रांच्या रचनेत भाग घेणाऱ्या मूलभूत कणाविषयीच्या माहितीत त्याने भर टाकली आणि ज्या तात्त्विक विचारांच्या आधारावर या कणांचे अस्तित्व शक्य आहे असे तात्त्विक भौतिकीशास्त्रज्ञ म्हणत असत, त्या तात्त्विक विचार-सरणीला पुष्टी देण्याचे कार्य त्याने केले.

१९३७

क्लिन्टन जोसेफ डेव्हीसन

(१८८१ -)

"स्फटिकातून जाणाऱ्या ऋणकणांचा परस्पराना होणाऱ्या प्रतिरोधाचा प्रायोगिक पद्धतीने शोध लावल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक"

चरित्र

अमेरिकेच्या इलिनॉइस राज्यातील ब्लुमिंगटन शहरात, २२ ऑक्टोबर १८८१ रोजी क्लिटन जोसेफ डेव्हीसनचा जन्म झाला. त्या शहरातील शाळेचा अभ्यासक्रम १९०२ मध्ये पुरा करून, गणित आणि भौतिकीशास्त्र या विषयातील प्राविण्या–बद्दल शिष्यवृत्ती मिळवून त्याने शिकागो विद्यापीठात प्रवेश मिळविला. तेथे त्याच्यावर प्रो. आर. ए. मिलीकन यांच्या व्यक्तिमत्वाचा विशेष प्रभाव पडला. प्रो. मिलीकन यांच्या खास शिफारसीमुळे त्यास पर्ड्यू विद्यापीठाने १९०४ जानेवारीमध्ये भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. १९०४ जून ते १९०५ ऑगस्ट हा काळ त्याने शिकागो विद्यापीठात पदव्युत्तर शिक्षणासाठी काढला. १९०५ मध्ये प्रो. मिलीकन यांच्या शिफारसीमुळे प्रिन्सटन विद्यापीठाने त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमलें. तेथे तो १९१० पर्यंत होता. या काळात

त्याने अनुक्रमे प्रो. एफ्. मॅगी, प्रो. इ. पी. अॅडम्स, प्रो. जेम्स जीन्स व प्रो. ओ. डब्ल्यू. रिचर्डसन यांच्या मार्गदर्शनाखाली विविध विषयावर संशोधन केले. या नामांकित संशोधकापैकी त्याने जास्त करून प्रो. ओ. डब्ल्यु. रिचर्डसन यांच्या मार्गदर्शनाचा लाभ घेतला. १९०८ मध्ये त्याने शिकागो विद्यापीठाची बी. एस्. पदवी संपादन केली. १९१० ते १९११ या काळात, भौतिकीशास्त्र शाखेकडील फेलोशिप स्वीकारून, त्याने प्रो. रिचर्डसन यांच्या मार्गदर्शनाखाली पीएच्. डी. पदवीसाठी संशोधन केले व धन आयनांचे औष्णिक उत्सर्जन या विषयावर प्रबंध सादर करून ती पदवी संपादन केली.

१९११ च्या सप्टेंबर महिन्यात पिट्सबर्ग येथील कार्नेजी इन्स्टिटयूट ऑफ टेक्नॉलॉजी या संस्थेने त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. तेथे तो १९१७ पर्यंत होता. पिट्सबर्गमध्ये प्राध्यापकीय जीवनास सुरवात केल्यानंतर १९१३ मध्ये त्याने इंग्लंडला जाऊन, प्रो. जे. जे. थॉमसन यांच्या कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेत काही काळ संशोधन केले. अमेरिकेने महायुद्धात भाग घेतल्यानंतर, १९१७ पासून तो वेस्टर्न इलेक्ट्रिक कंपनीच्या अभियांत्रिकी खात्यात होता. महायुद्ध संपल्यानंतर कार्नेजी इन्स्टिटयूटला न परतता, त्या संस्थेतील प्राध्यापकपदाचा राजीनामा देऊन, तो वेस्टर्न इलेक्ट्रिक कंपनीतच संशोधन करीत राहिला. १९४७ नंतर व्हर्जिनिया विद्यापीठात सवडीप्रमाणे जाण्याच्या अटीवर त्याने त्या विद्यापीठाचे प्राध्यापकपद स्वीकारले.

अमेरिकेच्या नॅशनल अॅकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेने त्यास १९२८ मध्ये कॉमस्टॉक पारितोषिक दिले. १९३१ मध्ये फ्रँकलिन इन्स्टिटयूटने त्यास इलियट क्रेसन पदक दिले. लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास १९३५ मध्ये ह्युजेस पदक दिले. १९४५ मध्ये आपला जुना नामवंत विद्यार्थी म्हणून शिकागो विद्यापीठाने त्यास अॅल्युम्नी पदक दिले. पर्ड्यू (१९३७), प्रिन्सटन (१९३८), लायन (१९३९) आणि कॉली (१९४०) या अमेरिकन विद्यापीठानी त्यास आपली माननीय डी. एस्सी. पदवी अर्पण करून आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे. याशिवाय इतर कित्येक अमेरिकन विज्ञानसंस्थांचे सभासदत्व त्यास मिळाले आहे.

१ फेब्रुवारी १९५८ रोजी त्याने इहलोकचा निरोप घेतला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

ज्या वेस्टर्न इलेक्ट्रिक कंपनीत डेव्हीसनने १९१७ मध्ये संशोधनास सुरवात केली, त्या कंपनीचे नंतर बेल टेलिफोन प्रयोगशाळेत रूपांतर झाले. या बेल टेलिफोन प्रयोगशाळेत आय्. अेन्. गर्मर यांच्या सहकार्याने संशोधन करीत असता, डेव्हीसनने लावलेल्या शोधाबद्दल त्यास नोबेल पारितोषिक मिळाले. निकेल धातूच्या पृष्ठभागावरून इलेक्ट्रॉनचे किंवा ऋणकणांचे परावर्तन या विषयाचा ते दोघे म्हणजे डेव्हीसन व गर्मर अभ्यास करीत होते. निकेल धातूच्या पृष्ठभागावर, कित्येक सूक्ष्म निकेल स्फटिक असतात. निर्वात नलिकेत निकेल धातू ठेवून, त्याच्या पृष्ठभागावर इलेक्ट्रॉनचा झोत सोडलेला असताना, द्रव हवा ठेवलेली बाटली अचानक फुटल्याने, निर्वातात ठेवलेल्या निकेल धातूच्या गरम पृष्ठभागावर हवेचा झोत गेला व त्या पृष्ठभागातील निकेलचे ऑक्सिकरण झाले. ऑक्सिकरण झालेला निकेल धातू खूप वेळपर्यन्त उच्च तपमानाला तापवल्यानंतर ऑक्सिकरण झालेल्या निकेल धातूला मूळ धातू स्वरूप प्राप्त झाले. यानंतर पुन्हा प्रयोगाला सुरवात केल्यावर त्याला असे आढळले की आपल्याला पूर्वी मिळत असलेल्या निकर्षापेक्षा ह्यावेळी निराळे निष्कर्ष मिळताहेत. ऋणकण जाण्याच्या दिशेतील फरकाप्रमाणे, त्यांच्या घनतेत किती फरक होतो याचा ते अभ्यास करीत होते. आपल्या निष्कर्षात झालेल्या फरकाचे कारण काय हे त्यानी सरते शेवटी शोधून काढले. ऑक्सिकरण झालेला निकेलधातू खूप वेळपर्यन्त उच्च तपमानाला तापवल्याने, ऑक्सिकरण झालेला निकेलधातू मूळ धातुस्वरूपास आला. परंतु त्याबरोबर निकेलधातूचे स्फटिकीकरण झाले व धातूच्या पृष्ठभागावर पूर्वीच्या अनेक सूक्ष्म निकेलधातू स्फटिका-ऐवजी आकाराने मोठे पण संख्येने थोडे निकेल धातुस्फटिक तयार झाले होते.

त्यानंतर डेव्हीसन आणि गर्मर यानी एका मोठ्या निकेल स्फटिकाच्या पृष्ठभागावरून परावर्तित होणाऱ्या ऋणकणाचा अभ्यास केला. या संशोधनाचा वृत्तांत त्यानी १९२७ मध्ये प्रसिद्ध केला. क्षकिरण शलाका स्फटिकाच्या पृष्ठ—भागावर आदळल्यास तिचे जसे डिफ्रॅक्शन किंवा वक्रीभवन होते तसाच प्रकार ऋणकणशलाका स्फटिकाच्या पृष्ठभागावर आदळल्यावर होतो असे त्याना आढळले होते. वक्रीभवन हे तरंगांचे एक वैशिष्ठ्य आहे. क्षकिरण इलेक्ट्रॉनिक तरंग असल्याने त्यांच्या वक्रीभवनात नाविन्य वा अनपेक्षित असे काहीही नव्हते. पण ऋणकण म्हणजे तरंग नाहीत भार, गती असणारे आणि विद्युतभार वाहणारे ते कण असल्याने त्याचे वक्रीभवन विशेष अभ्यासण्यासारखे होते. ऋणकण जाण्याच्या

दिशेचेही वक्रीभवन होतें हा डीब्रॉलीने १९२४ मध्ये मांडलेल्या उपपत्तीचा एक प्रायोगिक पुरावा होता. गतीवान कणांचा तरंगाशी संबंध असतो व हा संबंध कसा जोडायचा या विषयीचे समीकरणही डीब्रॉलीने मांडले होते. स्फटिकातील अणूच्या थरामधील अंतरावरून क्षकिरणांची तरंगलांबी काढता येते असे ब्रॅगने दाखवले होते. ब्रॅगच्या समीकरणाचा उपयोग करुन, डेव्हीसन आणि गर्मर यानी इलेक्ट्रॉनशी संबंधित तरंगांच्या तरंगलांबीचे मापन केले. यासाठी त्यानी निकेल स्फटिकाच्या अणुथरातील माहित असलेल्या अंतरांचा उपयोग केला. अशा तऱ्हेच्या मापनाने ऋणकणशलाकेशी संबंधित तरंगांची तरंगलांबी, डीब्रॉली समीकरणाने ठरवलेल्या तरंगलांबीशी फार सुरेखपणे जुळत व जमत होती.

आयनीकरण पात्राचा वापर करून ब्रॅगने परावर्तित क्ष-किरणांमुळे मिळणाऱ्या आयनीकरण विद्युत प्रवाहाची तीव्रता मोजली होती. तशाच प्रकारचा प्रयोग डेव्हीसन आणि गर्मर यानी केला. स्फटिकाच्या पृष्ठभागावरून निरनिराळ्या दिशेत परावर्तित झालेल्या ऋणकणांचे संख्यासामर्थ्य त्यानी गॅलव्हानो मापीच्या सहाय्याने मोजले. त्यानी वापरलेले उपकरण पुढील आकृतीत दाखविले आहे. तप्त टंग्स्टनच्या फितीतून उत्सर्जित झालेल्या ऋणकणावर वैद्युतीक्षेत्राचा परिणाम घडवून आणून त्यांचा वेग इष्ट त्या मर्यादेपर्यंत वाढवण्यात आला होता. या विशिष्ट उपकरणाला ' ऋणकण बंदूक ' असे आकृतीत म्हटले आहे. बदुकीतून जशी गोळी सुटते व वेगाने पुढे जाते तसे या विशिष्ट उपकरणातून ऋणकण बाहेर पडतात आणि मोठ्या वेगाने धावू लागतात, बाहेर पडलेल्या ऋणकणांच्या मार्गात, मध्ये अत्यंत अरुंद फट असलेले पडदे ठेवून, ऋणकणांची अत्यंत अरुंद शलाका मिळविण्यात येते. ही ऋणकणशलाका, स्फटिकशास्त्रज्ञ ज्यास १, १, १ पृष्ठभाग म्हणतात त्या पृष्ठभागावर काटकोनात पडेल, अशा तऱ्हेने त्या शलाकेच्या मार्गात स्फटिक ठेवतात. निकेलच्या चौकोनी घनाकृती स्फटिकामध्ये स्फटिकाच्या एका कोनापासून क्ष, य, ज्ञ अक्षाना सारख्याच अंतरावर कापणाऱ्या पृष्ठभागाला १,१,१ पृष्ठभाग म्हणतात.) ऋणकणशलाका ज्या बिंदूशी स्फटिकाच्या पृष्ठ-भागावर पडत असते, त्या बिंदुभोवती एका पातळीत फिरवता येईल अशा तऱ्हेने गॅलव्हानो मापीला जोडलेला संग्राहक ठेवतात. ऋणकण शलाकाचा ज्या मार्गाने येत असते, त्या मार्गाच्या अक्षाभोवती स्फटिक फिरविण्याची सोय असते.

स्फटिकावर पडणारी ऋणकणशलाका आणि स्फटिकाच्या पृष्ठभागावरून परावर्तित होऊन परतणारी ऋणकणशलाका यातील कोन (θ) कमी जास्त

केल्याचा परिणाम आकृतीमध्ये आलेखाने दाखवला आहे. या आलेखातील प्रत्येक बिंदू गॅल्व्हानो मापीने घेतलेले मापन दाखवतो. ० पासून त्या बिंदुमार्गापर्यंतच्या सरळ रेषेची लांबी इलेक्ट्रॉनिक प्रवाहाच्या प्रमाणात आहे. ० पासून बिंदूपर्यंतची रेषा आणि उभी रेषा यामधला कोन, स्फटिकावर पडणारी ऋणकणशलाका आणि परावर्तन झालेली ऋणकणशलाका यामधल्या कोनाएवढा असतो. ५४ व्होल्ट विद्युती क्षेत्राने गती दिलेले ऋणकण स्फटिकावर पडणाऱ्या ऋणकणशलाकेत असले तर असे आढळते की स्फटिकावर पडणारी ऋणकणशलाका आणि परावर्तन झालेली ऋणकणशलाका या मधला कोन θ, ५०^0 पर्यंत वाढवत नेल्यास, ऋणकणशलाकेचे संख्यासामर्थ्य झपाट्याने वाढत जाते व ५०^0 चा कोन असताना ते बृहत्तम असते. θ कोन ५०^0 हून वाढवल्यास, ऋणकणशलाकेचे संख्यासामर्थ्य झपाट्याने कमी होऊ लागते. त्यामुळे आकृतीत दाखवल्यासारखा उंचवटा आपल्याला मिळतो. ऋणकणसंग्राहक ५०^0 लाच ठेवला व वैद्युतीक्षेत्राचे व्होल्टेज वाढवून किंवा कमी करून, ऋणकणांचा वेग वाढवत नेल्यास, किंवा कमी करीत नेल्यास आलेखात दिसून येणारा उंचवटा कमी कमी होऊ लागतो. ४० व्होल्टला व तसेच ६८ व्होल्टला तो उंचवटा जवळ जवळ नाहीसा होतो. वैद्युती क्षेत्राचे व्होल्टेज १८१ व्होल्ट केल्यास पहिल्या उंचवट्याच्या जोडीला दुसरा उंचवटा दिसू लागतो. (θ कोन ५५^{0}चा असताना) अशा रीतीने वेगवेगळे व्होल्टेज व वेगवेगळे θ कोन असताना, वीसाहून अधिक सामर्थ्यशाली ऋणकणशलाका मिळाल्या.

काही ठराविक दिशेतच सामर्थ्यशाली ऋणकणशलाका मिळतात याचे स्पष्टीकरण देता येते. स्फटिकावर प्रकाश तरंग पडत असतात असे धरून, स्फटिक एक त्रिमिती वक्रीभवन ग्रेटिंग (रेखापट्टी) असल्याने, स्फटिकावर पडणाऱ्या प्रकाश तरंगांचे काही ठराविक दिशेतच वक्रीभवन होत असते आणि वक्रीभवन झालेल्या प्रकाश तरंगांच्या कला एकमेकांचा पाठपुरावा करींत असल्यास किंवा वक्रीभवन झालेले प्रकाश तरंग एकाच कलेत असल्यास, वक्रीभवनाचा परिणाम जास्त उठावदारपणे दिसून येतो. त्यासारखाच परिणाम ऋणकणशलाकेशी संबंधित तरंगांच्या बाबतीत दिसून येतो व त्यांच्या बाबतीत, $n\lambda = d \sin \theta$ हे समीकरण*

---

* हे समीकरण ब्रॅगच्या सुप्रसिद्ध $n\lambda = २d \sin \theta$ या समीकरणाहून भिन्न आहे. स्फटिकातील निरनिराळ्या अणुस्तरामुळे होणाऱ्या क्षकिरणांच्या विकरणात θ हा स्फटिकाचा पृष्ठभाग व क्षकिरणशलाका यामधला कोन आहे. तर ऋणकण–वक्रीभवनात पृष्ठभागातील अणूच फक्त भाग घेतात आणि θ हा स्फटिकावर पडणारी ऋणकणशलाका व परावर्तन झालेली ऋणकणशलाका यामधला कोन आहे.

लावता येते. या समीकरणात d हे स्फटिकाच्या पृष्ठभागातील अणूमधील अंतर आहे. θ – पतित व परावर्तित ऋणकणशलाका यामधला कोन आणि n म्हणजे १, २, ३ यासारखे पूर्णांक होत. ५०^{0} ला आलेखात उंचवटा मिळत असतो अशावेळी निकेलच्या स्फटिकात d चे मूल्य २.१५ × १०$^{-८}$ सें.मी. असते. म्हणून λ चे मूल्य १.६५ × १०$^{-८}$ सें. मी. येते. याच उपकरणात काहीही फरक न करता, ५५^{0} ला दुसरा उंचवटा मिळत असता, n चे मूल्य दोन आहे असे धरुन λ चे मूल्य काढल्यास, ते ०.८८ × १०$^{-८}$ सें. मी. येते. ५०^{0} अंशाला λ चे जे मूल्य मिळते त्याच्या हे साधारणपणे निम्म्याइतके आहे. डी ब्रॉलीच्या सूत्रामध्ये ($\lambda = h/p$ यामध्ये) p हा संवेग (भार × वेग), ऋणकणाना वेग देणारे वैद्युती क्षेत्र व ऋणकणावरचा विद्युतभार e व ऋणकणाचा भार m यामध्ये मांडता येतो.

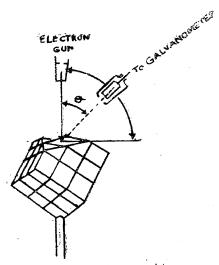
$$p = \sqrt{\frac{2meV}{300}}$$

असे सूत्र असून त्यात v = व्होल्टेज व e इलेक्ट्रोस्टॅटिक युनिटमध्ये किंवा एकेकामध्ये असतो.

५०^{0} ला आलेखात उंचवटा असतो, त्यावेळी व्होल्टेज ५४ व्होल्ट असते व λ चे मूल्य १.६७ × १०$^{-८}$ सें. मी. आहे असे गणिताने येते. १८१ व्होल्ट वैद्युती क्षेत्र असल्यास, आलेखातील उंचवटा ५५^{0} ला येतो. त्यावेळी λ चे मूल्य ०.९१ × १०$^{-८}$ सें. मी. येते. ही दोन्ही मूल्ये प्रायोगिक मूल्याशी अगदी मिळती जुळती आहेत. इतर उंचवटयांच्या बाबतीतही λ ची गणिताने काढलेली मूल्ये यात एकवाक्यता आहे.

जेव्हा ऋणकणशलाका ठराविक अंतरावर अणू असलेल्या स्फटिकावर पडू दिल्यास, प्रकाशतरंगासारखी तरंगमालिका पडावी असे तिचे वर्तन असते. स्फटिकाभोवतालच्या सर्व दिशामध्ये ऋणकणशलाकेचे विकरण होते. ऋणकण–संग्राहक वेगवेगळया दिशाना ठेवून, कोणत्या दिशामध्ये ऋणकणशलाका संख्या–सामर्थ्य दाखवते एवढे अभ्यासायचे व त्या संख्यासामर्थ्याची परस्पराबरोबर तुलना करायची एवढेच काम संशोधकाला करावे लागते.

डेव्हीसनच्या संशोधनाबद्दल ही माहिती मिळवल्यानंतर, आता आपल्याला त्याच्या नोबेल व्याख्यानाकडे वळायला हरकत नाही. त्या व्याख्यानातील काही थोडासा भागच या ठिकाणी दिला आहे.

" प्रकाश कणमय असतो ही उपपत्ती, थॉमस यंगच्या १८०० साली पार पाडलेल्या प्रयोगामुळे सोडून द्यावी लागली. पण जवळ जवळ एक शतकानंतर १८९९ मध्ये भौतिकी शास्त्रज्ञाना त्या उपपत्तीचा पुन्हा नव्याने विचार करावा लागला. त्या वर्षी मॅक्स प्लँकने क्वांटम उपपत्ती मांडली. या उपपत्तीप्रमाणे प्रकाश ऊर्जा काही तरी कारणामुळे क्वांटांच्या स्वरूपात असते. प्लँकची उपपत्ती मान्य केल्यास कृष्ण वस्तूमात्र विकिरणांच्या वर्णपटात ऊर्जा कशी वाटली जाते याचे समाधानकारक स्पष्टीकरण देता येत होते. ऊर्जेचे क्वांटायझेशन किंवा पुंजीकरण अशा रीतीने होत असते की त्यामुळे वस्तुमात्र आणि विकिरण यामधील ऊर्जेची देवाण घेवाण विकिरण वारंवारतेच्या प्रमाणात क्वांटामध्ये होत असते. या देवाण-घेवाणीची प्रमाणीयता प्लँकचा स्थिरांक h यावर अवलंबून असते. अशा रीतीने प्रकाश कणमय आहे ही कल्पना एका वेगळ्या स्वरूपात शास्त्रज्ञापुढे आली.

आकृती-34 डेव्हिसनची आकृती-1

(प्राथमिक प्रकाशकिरण, निकेलचा स्फटिक आणि संग्राहक यांचा विन्यास दाखवणारी काल्पनिक आकृती)

रिचर्डसन, के. टी. कॉम्प्टन, ह्युजेस आणि मिलिकन यानी या कण-उपपत्तीविषयक केलेल्या संशोधनातून असे सिद्ध झाले की प्रकाशापासून ऋण-कणाना मिळालेली ऊर्जा प्रकाश तरंगाच्या वारंवारतेच्या प्रमाणात असते, आणि ऊर्जा व वारंवारता यामधील प्रमाणीयता ज्यावर अवलंबून असते तो अंक प्लँकने कृष्ण वस्तूमात्र विकिरणांच्या अभ्यासावरून काढलेला प्रमाणीयतेचा अंक होय. प्लँकने मांडलेली ऊर्जेच्या क्वांटायझेशनची किंवा ऊर्जापुंजांची कल्पना आइन-स्टाइनने मान्य केली. इतकेच नाही, तर त्याच्याही पुढे जाऊन प्रकाश क्वांटा किंवा प्रकाश पुंज ऊर्जा पुंज असून, ते ऋणकणाना देता येतात अशी कल्पना मांडली.

काही विशिष्ट परिस्थितीमध्ये प्रकाश क्वांटाचे—त्याना फोटॉन किंवा प्रकाश कण असे नाव मिळाले होते—ऋणकणाबरोबर प्रत्यास्थ आघात होऊ शकतात व त्या आघाताना कणाविषयीच्या आघातांचे साधे नियम लावता येतात असे ए. एच्. कॉम्प्टनने १९२२ मध्ये दाखवल्यानंतर प्रकाश कणस्वरुपी असतो ही कल्पना मान्य करावी लागली. जी सकृतदर्शनी परस्परविरुद्ध विधाने वाटतात, ती विधाने बरोबर आहेत असे सिद्ध झाले होते. प्रकाश म्हणजे जलदगती कण आणि प्रकाश म्हणजे तरंगनिर्मिती असे म्हणावे लागत होते, कारण प्रकाशाचा प्रत्यारोध तरंग उपपत्तीच्याच सहाय्याने समजावून घ्यावा लागत होता.

१९१३ मध्ये नील्स बोरने त्याची स्थिरस्थितीप्रदक्षिणा मार्गाची चमत्कारिक उपपत्ती मांडली. ऋणकण स्थिरस्थिती प्रदक्षिणामार्गात सारखे फिरत असतात व ते तसे फिरत असताना, प्रकाशाचे उत्सर्जन व शोषण होत नाही. पण ऋणकणाने एका स्थिरस्थिती मार्गातून दुसऱ्या स्थिरस्थिती प्रदक्षिणामार्गात उडी मारली तर प्रकाशाचे उत्सर्जन वा शोषण होते. बाहेरच्या प्रदक्षिणा मार्गातून आतल्या प्रदक्षिणा मार्गात ऋणकणाने उडी मारल्यास प्रकाशाचे उत्सर्जन होते आणि प्रकाश ऊर्जा शोषण केल्यास ऋणकण आतल्या प्रदक्षिणा मार्गातून बाहेरच्या प्रदक्षिणा-मार्गात उडी घेतो असे बोरने मांडलेले चमत्कारिक चित्र होते. पण हैड्रोजनच्या वर्णपटात दिसून येणाऱ्या महत्वाच्या गोष्टींचे स्पष्टीकरण त्या उपपत्तीच्या सहाय्याने करता येत होते. दृश्य प्रकाशाच्या वर्णपटातील बामर मालिकातील रेषा, राइडबर्ग स्थिरांक या सर्वांची मूल्ये अगदी अचूक मिळत होती. याशिवाय ध्यानात घेण्यासारखी आणखी एक गोष्ट ही की कृष्ण वस्तूमात्र वर्णपटाच्या अभ्यासावरून प्लँकने काढलेला स्थिरांक आपल्या उपपत्तीत अतिशय उपयुक्तपणे वापरता येतो हे बोरने सिद्ध केले.

त्यामुळे आमची अशी भावना झाली की बोरच्या उपपत्तीने भौतिकी-शास्त्राच्या तात्त्विक विचारसरणीत भर घातली असली तरी आणखीही प्रगती होण्यासारखी आहे. बोरच्या उपपत्तीची अंगेउपांगे समजावून घेऊन त्या उपपत्ती-पलीकडे झेप घेणारी व निरनिराळ्या विरोधी कल्पनांचा समन्वय घालून देण्याची बोर उपपत्तील असमर्थता जीमध्ये नाही अशा प्रकारची नवीन उपपत्ती मांडली पाहिजे असे आमचे मत झाले.

भौतिकीशास्त्रातील निरनिराळ्या विरोधी कल्पनांचा समन्वय घालून देण्याचे प्रयत्न यापूर्वीही झाले. अशा प्रकारचा समन्वय घालू शकतील अशा दोन कल्पना १९२४ पर्यंत मांडण्यात आल्या होत्या, व त्या कल्पनांचा पद्धतशीर पाठपुरावा केला जात होता. डी ब्रॉलीने पीएच्. डी. पदवी मिळविण्यासाठी लिहिलेल्या प्रबंधात ज्या कल्पना मांडल्या होत्या, त्यातून तरंगयंत्रशास्त्राची उत्पत्ती व वाढ झाली. प्रकाशाला ज्याप्रमाणे तरंगांचे गुणधर्म आणि कणांचे गुणधर्म असतात, त्याप्रमाणे वस्तुमात्रानाही तरंग गुणधर्म व कण गुणधर्म असतात असे डी ब्रॉलीने आपल्या उपपत्तीत मांडले. बोर उपपत्तीमध्ये कणांच्या गुणधर्मावर ज्या मर्यादा होत्या, त्या मर्यादा लक्षात घेऊन अणूमधील तरंगांच्या आकृतीबधाचा विचार करायचा होता..

प्रकाश व वस्तुमात्र यांच्या वस्तुस्थितीतील साम्यावरून व बोरच्या उपपत्तीत प्लँकचा स्थिरांक एक अत्यावश्यक भाग आहे हे लक्षात घेऊन, हा स्थिरांक इलेक्ट्रॉनचे कणगुणधर्म आणि तरंगगुणधर्म यांचा संबंध जोडू शकेल अशी आम्ही कल्पना केली आणि अशा प्रकारचा संबंध प्रस्थापित करणारी खालील समीकरणे मांडली.

कणाची ऊर्जा $E = h\nu$

(ν वारंवारता किंवा एक एकक कालातील तरंगसंख्या)

कणाचा संवेग $p = h\sigma$

(σ = तरंग अंक किंवा एक एकक अंतरातील तरंगसंख्या)

यातील दुसरे समीकरण

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

असे मांडतात व त्या स्वरूपात ते जास्त परिचित आहे. यात λ = तरंगलांबी.

भौतिकीशास्त्रात दुसऱ्या कोणत्याही कल्पनेची या कल्पनेइतकी चटकन प्रगती झाली किंवा तिच्याकडे इतक्या प्रमाणात लक्ष पुरवले गेले नाही. समीकरणात मांडलेल्या कल्पनेची वाढ करण्यात डी ब्रॉग्लेने खूप हातभार लावला असला तरी त्या बाबतीत श्रॉडिंजर या शास्त्रज्ञाचे परिश्रम विशेष उल्लेखनीय आहेत.

सुरवातीच्या त्या काळात, अणूमधील ऋणकणतरंगाकडे शास्त्रज्ञांचे लक्ष केन्द्रित झाले होते. अणूविषयक विचारातून तरंगयंत्रशास्त्राचा उदय झाला होता–तेव्हा त्या नवीन यंत्रशास्त्राने अणूवर आपले लक्ष केन्द्रित केले ही एक सहज समजण्यासारखी घटना होती. त्यावेळी मुक्तावस्थेत संचार करणारे ऋणकण विचारात घेतले नव्हते. प्रकाशशलाकेला ज्याप्रमाणे तरंगगुणधर्म असतात, त्याप्रमाणे ऋणकणशलाकेला तरंग गुणधर्म असावेत किंवा असले पाहिजेत असे धरूनच त्यांच्याविषयी विचार केल्यास, ऋणकणशलाकेचे योग्य प्रकारच्या ग्रेटिंगकडून (रेखापट्टीकडून) विकरण झाले तर ऋणकणशलाकेचे वक्रीभवन होईल असे अपेक्षित होते. पण यातून निघणारा उपसिद्धांत शास्त्रज्ञानी विचारात घेतला नव्हता. हा उपसिद्धांत एल्सासर याने १९२५ मध्ये प्रथमतः शास्त्रज्ञापुढे मांडला. ऋणकणशलाकेचे वक्रीभवन होत आहे असे दाखवून दिले तर ऋणकणतरंग असू शकतात याची प्रचिती येईल असे एल्सासरचे म्हणणे होते. म्हणजे ऋणकणशलाकेचे वक्रीभवन शोधून काढण्याची वैचारिक तयारी झाली होती. ऋणकणशलाकेचे वक्रीभवन सिद्ध करणारे प्रयोग करणे तेवढे बाकी राहिले होते.

एल्सासरने १९२५ साली उपसिद्धांत मांडल्यानंतर जवळ जवळ लगेच ऋणकणांच्या वक्रीभवनाविषयीच्या प्रयोगास अमेरिकेत सुरवात झाली. द्वितीयक इलेक्ट्रॉनच्या ऊर्जेचा वर्णपट काढल्यास त्याची वरची मर्यादा प्राथमिक ऋणकणांची ऊर्जा दाखवते किंवा प्राथमिक ऋणकणांच्या ऊर्जेइतकी असते, या १९१९ मध्ये लागलेल्या अचानक शोधामधून या प्रयोगाना सुरवात झाली. शेकडो व्होल्ट व्होल्टेज वापरून ऋणकणाना गती दिली असली तरी ते धातूवर आदळल्यावर त्यांचे प्रत्यास्थ विकरण होते असे या प्रयोगात आढळले.

प्रत्यास्थ विकरण पावलेले इलेक्ट्रॉन किंवा ऋणकण निरनिराळ्या दिशेत कसे वाटले जातात याच्या अभ्यासास या प्रयोगातूनच सूरवात झाली. यावेळी पुन्हा एकदा अचानक शोध लागला. प्रत्यास्थ विकरणाची तीव्रता, ऋणकणांचे

विकरण करणारा स्फटिक ठेवण्याच्या पद्धतीवर किंवा तो कोणत्या विशिष्ट दिशेने ठेवला आहे यावर अवलंबून असते असे आढळून आले. हे समजल्यानंतर स्फटिक एकाद्या विशिष्ट दिशेने ठेवून, त्याच्यामुळे होणाऱ्या प्रत्यास्थ विकरणाचा पद्धतशीर अभ्यास साहजिकच सुरू झाला. डीब्रॉलीचा सिद्धांत प्रसिद्ध झाल्यानंतर एक वर्षाने १९२५ मध्ये या प्रयोगाना सुरवात झाली. त्यानंतर एक वर्षाने तरंग यंत्रशास्त्राची प्रगतीच्या मार्गावर झपाट्याने वाटचाल सुरू झाली. त्यावेळी डीब्रॉलीच्या तरंग उपपत्तीचे प्रायोगिक परीक्षण करावे हा विचार नव्हता. १९२६ मध्ये मी इंग्लंडला गेलो असता, माझ्या संशोधनाबद्दल मी रिचर्डसन, बॉर्न, फ्रँक आणि त्यासारखे इतर शास्त्रज्ञ यांच्याबरोबर विचारविनिमय केला. त्यानंतर डीब्रॉलीची तरंगउपपत्ती तपासून पाहायची असे माझ्या प्रयोगांचे स्वरूप झाले.

इंग्लंडहून परतल्यानंतर ऋणकणांच्या वक्रीभवनाचा शोध घ्यायला मी सुरवात केली. एक वर्षभर प्रयोग केल्यानंतर ऋणकण-वक्रीभवन सिद्ध करणारा पुरावा आम्हाला मिळाला. त्यापाठोपाठ ऋणकण-वक्रीभवन दाखवणारी वीस उदाहरणे आमच्या नजरेस पडली. त्यापैकी एकोणीस उदाहरणे तरंगलांबी आणि संवेग यामधला संबंध प्रस्थापित होतो की नाही हे तपासण्यासाठी वापरता आली. प्रत्येक वेळी डीब्रॉलीचे

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

हे सूत्र, प्रयोगातील अचूकतेच्या मर्यादा लक्षात घेता, बरोबर असल्याचे आम्हाला आढळले.

आम्ही आमचे प्रयोग कशाप्रकारे पार पाडले हे मी थोडक्यात सांगणार आहे. ज्ञातवेगाची ऋणकणशलाका निकेल स्फटिकाच्या (१, १, १) पृष्ठभागावर आम्ही सोबतच्या आकृतीत दाखल्याप्रमाणे पडू दिली. प्रत्यास्थ विकरण पावलेले ऋणकणच पकडू शकेल असा ऋणकण संग्राहक आम्ही वापरला. हा संग्राहक विकरणासाठी वापरलेल्या स्फटिकाभोवती वर्तुळाकार कक्षेत फिरवता येत होता.

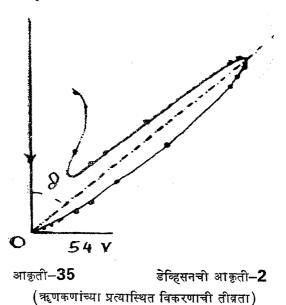
स्फटिकावर पडणाऱ्या ऋणकणशलाकेच्या कक्षाभोवती स्फटिक फिरविण्याची सोय होती. अशा रीतीने ऋणकण-विकरणाचा अभ्यास करताना, स्फटिकाच्या

पृष्ठभागावरून निरनिराळ्या दिशेत विकरण पावलेल्या ऋणकणांचे संख्यासामर्थ्य मोजता येत होते. फक्त ऋणकणांच्या प्राथमिक शलाकेच्या १०$^{\circ}$ ते १५$^{\circ}$ अंतरावर असणाऱ्या ऋणकणांची तीव्रता किंवा संख्या सामर्थ्य आम्हाला मोजता येत नव्हते.

खाली दिलेल्या दोन क्रमांकाच्या आकृतीत, निकेल स्फटिक एका विशिष्ट दिशेने ठेवल्यानंतर, ऋणकणांचे जास्त संख्यासामर्थ्य दाखविणारे कोन दाखवले आहेत.

विशिष्ट तरंगलांबी असता, वक्रीभवन झालेली ऋणकणशलाका चटकन ओळखता येते. स्फटिकाचा ज्ञातस्थिरांक व वक्रीभवन झालेल्या ऋणकणशलाकेच्या कोनावरून त्याशी संबंधित तरंगलांबी आम्ही गणिताने काढली व डीब्रॉली समीकरणाने तीच तरंगलांबी येते का हे पाहिले. $\lambda = h/p$ या समीकरणाच्या सहाय्याने आम्ही तरंगलांबीचे गणित केले होते. यात p = ऋणकणांचा संवेग असून, तो ऋणकणांचा वेग वाढवण्यासाठी वापरलेल्या व्होल्टेजवरून आणि e/m किंवा ऋणकणावरील विद्युतभार भागिले ऋणाकणाचा भार याच्या मूल्यावरून गणिताने काढला होता.

आकृती–**35** डेव्हिसनची आकृती–**2**

(ऋणकणांच्या प्रत्यास्थित विकरणाची तीव्रता)

स्टर्न आणि इस्टरमन यानी १९२९ मध्ये असे सिद्ध केले आहे की अण्विक हायड्रोजन शलाकेचे सुद्धा डी ब्रॉली–श्रॉडिंजर उपपत्तीप्रमाणे वक्रीभवन होते.

डेव्हीसन आणि गर्मर यांचे न्यूयॉर्कमध्ये संशोधन चालू असता, स्कॉटलंडच्या अॅबरडीन विद्यापीठात प्रो. जी. पी. थॉमसनचे तशाच प्रकारचे संशोधन चालू होते. डेव्हीसनला थॉमसनच्या संशोधनाची माहिती नव्हती व थॉमसनला अमेरिकेत ऋणकणशलाकेच्या वक्रीभवनाविषयी डेव्हीसन संशोधन करीत आहे हे माहीत नव्हते. डेव्हीसनने आपल्या प्रयोगांचे निष्कर्ष प्रसिद्ध केल्यानंतर, त्या पाठोपाठ थोड्याच दिवसात थॉमसनचे संशोधन प्रसिद्ध झाले.

संशोधनाचे परिणाम

डेव्हीसन आणि थॉमसन यांच्या संशोधनामुळे डी ब्रॉलीच्या उपपत्तीत अभिप्रेत असलेले वस्तुमात्र-तरंग प्रत्यक्षात मिळतात असे नि:संशय सिद्ध झाले. निदान ऋणकणांच्या बाबतीत तरी डी ब्रॉलीची उपपत्ती बरोबरच आहे असे डेव्हीसन आणि थॉमसन यानी सिद्ध केले. त्यानंतर अणू व रेणू यांच्या बाबतीतही डी ब्रॉली उपपत्ती लागू पडते असे स्टर्न या संशोधकाने सिद्ध केले. स्टर्नला या संशोधनाबद्दल १९४३ साली नोबेल पारितोषिक मिळाले असल्याने, त्याच्या संशोधनाचे वेगळे वर्णन दिले आहे. ऋणकणांच्या वक्रीभवनाचे महत्त्वाचे उपयोग थॉमसनच्या नोबेल व्याख्यानात आले आहेत.

१९३७

जॉर्ज पेजेट थॉमसन

(१८९२ -   )

"स्फटिकातून जाणाऱ्या ऋणकणांच्या परस्परास होणाऱ्या प्रतिरोधाचा प्रायोगिक पद्धतीने शोध लावल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक"

१९३७ साली, भौतिकीशास्त्रातील संशोधनाबद्दलचे नोबेल पारितोषिक प्रो. डेव्हीसन व प्रो. जॉर्ज पेजेट थॉमसन यांच्यामध्ये विभागून देण्यात आले. प्रो. डेव्हीसन यांच्या संशोधनाची माहिती याआधी दिली आहे. आता थॉमसनच्या संशोधनाची माहिती करून घेऊ.

चरित्र

३ मे १८९२ रोजी इंग्लंडमधील केम्ब्रिज शहरी जॉर्ज थॉमसनचा जन्म झाला. १९०६ साली नोबेल पारितोषिक मिळवणाऱ्या सर जे. जे. थॉमसनचा तो एकुलता एक मुलगा. केम्ब्रिजमधील पर्स स्कूलमध्ये त्याचे शालेय शिक्षण झाले. त्याचे विश्वविद्यालयीन शिक्षण केम्ब्रिजच्या ट्रिनिटी कॉलेजमध्ये झाले. विद्यार्थी-दशेत एक अत्यंत हुषार विद्यार्थी असा त्याने नावलौकिक कमावला व १९१३ साली गणित हा खास विषय घेऊन तो पहिल्या वर्गात पदवी परिक्षा उत्तीर्ण झाला.

पदवीपरीक्षेबरोबर त्याने निसर्गविज्ञानशास्त्राची ट्रायपॉस ही परीक्षाही दिली. त्याची शैक्षणिक पात्रता पाहून त्यास ताबडतोब केम्ब्रिजच्या कॉर्पस क्रिस्टी कॉलेजमध्ये प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९१४ साली पहिले महायुद्ध सुरू झाल्यावर तो सैन्यात भरती झाला. क्वीन्स रेजिमेन्ट या सैन्यदलात त्याला अधिकारपद मिळाले. १९१५ पर्यन्त तो आपल्या सेनादलाबरोबर फ्रान्समध्ये होता. विमानोड्डाणात येणाऱ्या अडचणींचा विचार करण्यासाठी, त्याचे विज्ञानविषयातील कौशल्य लक्षात घेऊन, त्याची रॉयल फ्लाइंग कोअर विभागात बदली झाली. १९१८ मध्ये ब्रिटीश वॉर मिशनचा एक सदस्य या नात्याने त्याने अमेरिकेला भेट दिली.

महायुद्ध संपल्यानंतर सैनिकी जीवनाला रामराम ठोकून, त्याने कॉर्पस क्रिस्टी कॉलेजमध्ये अध्यापन व संशोधन कार्य सुरू केले. १९२२ मध्ये स्कॉटलंडच्या ॲबरडीन विद्यापीठाने त्यास निसर्गविज्ञान विषयांचा प्राध्यापक नेमले. स्फटिकामध्ये होणारे ऋणकणांचे वक्रीभवन या विषयावरचे संशोधन त्याने ॲबरडीन विद्यापीठात पार पाडले व त्याच संशोधनाबद्दल त्यास नोबेल पारितोषिक मिळाले. १९२९ मध्ये अमेरिकेच्या कॉर्नेल विद्यापीठाने त्यास पाहुणा व्याख्याता म्हणून बोलावून घेतले. कॉर्नेल विद्यापीठात काही दिवस राहून त्याने बेकर व्याख्यानमाला गुंफली. अमेरिकेत असतानाही त्याचे संशोधन तेथल्या फ्रँकलिन इन्स्टिटय़ूटमध्ये चालू होते. १९३० मध्ये लंडन विद्यापीठाच्या इंपिरियल कॉलेज ऑफ सायन्स अँड टेक्नॉलॉजी या संस्थेत भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले, व कार्यनिवृत्त होईपर्यन्त त्याचे संशोधन तेथेच चालू होते.

दुसऱ्या महायुद्धात १९४० ते १९४१ या काळात ब्रिटिश कमिशन ऑन ॲटॉमिक एनर्जी (ब्रिटनची अण्विक ऊर्जा समिती) या समितीचा अध्यक्ष म्हणून काम पाहिले. १९४१ ते १९४२ या काळात तो ग्रेट ब्रिटनचा कॅनडामधील विज्ञान-संपर्काधिकारी होता. कॅनडाहून परत आल्यानंतर १९४२ ते १९४३ या काळात तो ब्रिटिश रेडिओ बोर्डाचा उपाध्यक्ष होता. त्यानंतर एक वर्ष तो विमानखात्याचा विज्ञानसल्लागार होता. युद्धानंतर १९४६ साली युनायटेड नेशन्स कमिशनपुढे गेलेल्या ब्रिटनच्या अण्विक ऊर्जासमितीचा तो विज्ञानसल्लागार होता.

लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास १९२९ साली आपला फेलो निवडले. १९३९ मध्ये त्यास ह्युजेस पदक मिळाले. १९४९ मध्ये त्यास रॉयल पदक मिळाले. ब्रिटनमधील व परदेशातील बऱ्याचशा विद्यापीठानी त्यास आपल्या

माननीय पदव्या देऊन आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे. १९४३ साली त्यास 'सर' ही पदवी मिळाल्याने तेव्हापासून सर जॉर्ज पेजेट थॉमसन असा त्याचा उल्लेख होऊ लागला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

डेव्हीसन आणि गर्मर यानी केलेल्या संशोधनापेक्षा थॉमसनचे संशोधन संपूर्णतया भिन्न आहे. धातुच्या तप्त तारेतून बाहेर पडणारे कमी वेगाचे ऋणकण प्रयोगात वापरण्याऐवजी थॉमसनने कॅथोड किरणातील जलदगती ऋणकण आपल्या प्रयोगात वापरले आहेत. कॅथोड किरणातील जलदगती ऋणकण, एका स्फटिकाच्या पृष्ठभागावरून परावर्तित करून, मग प्रयोगासाठी वापरण्याऐवजी, ते त्याने प्रथमतः धातूच्या अत्यंत पातळ झिरझिरीत पत्र्यातून पलीकडे धाडून मग प्रयोगात वापरले. धातूच्या पत्र्यातून धाडल्याने ऋणकणांचे होणारे वक्रीभवन त्याने वैद्युती पद्धतीने न अभ्यासता, फोटो घेण्याच्या पद्धतीने अभ्यासले. स्फटिकातून क्षकिरण पाठवून त्यांचा फॉन लावेने ज्याप्रमाणे फोटोग्राफिक पद्धतीने अभ्यास केला, त्याप्रकारचा अभ्यास थॉमसनने ऋणकणांच्या बाबतीत केला. डेव्हीसन आणि गर्मर यांची प्रयोगपद्धती ब्रॅगच्या पद्धतीशी जास्त मिळती जुळती होती. स्फटिकाच्या पृष्ठभागावरून होणारे क्षकिरणांचे परावर्तन ब्रॅगने अभ्यासले तर डेव्हीसन आणि गर्मर यानी स्फटिकाच्या पृष्ठभागावरून होणारे ऋणकणांचे परावर्तन अभ्यासले. स्फटिक काही ठराविक दिशेने ठेवल्यावर, ब्रॅगला वर्णपटात शिखरबिंदू मिळाले. तसेच शिखरबिंदू डेव्हीसन आणि गर्मर याना आपल्या प्रयोगात मिळाले. थॉमसनला मिळालेल्या फोटोग्राफचे फॉन लावेला मिळालेल्या फोटोग्राफशी पुष्कळसे साम्य होते. वक्रीभवन अजिबात न झालेल्या क्षकिरणामुळे, मध्यभागी मोठा काळा ठिपका व वक्रीभवन झालेल्या क्षकिरणामुळे त्या काळ्या ठिपक्याभोवती ठिपक्यांची प्रमाणबद्ध रांगोळी, फॉन लावेला फोटोग्राफिक प्लेटवर मिळत होती. तशाच प्रकारचा केन्द्रस्थानी काळा मोठा ठिपका व त्याभोवती तशाच प्रकारची ठिपक्यांची प्रमाणबद्ध रांगोळी थॉमसनला मिळाली. धातूचा पातळ पत्रा नैसर्गिक स्फटिकी अवस्थेत असल्यास थॉमसनच्या व फॉन लावेच्या फोटोग्राफमध्ये साम्य असायचे. पण ठोकून ठोकून किंवा सारखा दाब देऊन, धातूचा पत्रा पातळ केला असल्यास, ठिपक्यांच्या रांगोळीऐवजी, फोटोग्राफमध्ये एक–केन्द्रिय वर्तुळे मिळायची. एका स्फटिकातून क्षकिरण धाडण्याऐवजी स्फटिकांचे चूर्ण करून, त्या चूर्णातून क्षकिरण धाडल्यासही एककेन्द्रिय वर्तुळे मिळतात. शिवाय वर्तुळांचे

व्यास, वापरलेल्या उपकरणांची लांबीरुंदी, फोटोग्राफिक प्लेटपासून उपकरणाचे अंतर चूर्णातील स्फटिकांची रचना माहिती असल्यास, ऋणकणामुळे मिळणाऱ्या तरंगांची तरंगलांबी गणिताने काढता येते. अशा तऱ्हेने काढलेली तरंगांची तरंग-लांबी डी ब्रॉली सूत्राने काढलेल्या तरंगलांबीशी पूर्णपणे जुळते. या एवढ्या प्रास्ताविकानंतर थॉमसनच्या नोबेल व्याख्यानाकडे वळायला हरकत नाही. त्या व्याख्यानात थॉमसनने म्हटले आहे.–

"विलयनातील आयनावर असणारा विद्युतभार एकक रूपात असतो हे फॅराडेने विद्युतविभाजनाविषयी संशोधन करून दाखवले. आपण किती बहुमोल कार्य केले याची त्यावेळी त्याला कल्पना आली नाही. १८७३ मध्ये मॅक्सवेलने विजेचा एक रेणू असा शब्दप्रयोग केला. १८८१ मध्ये फॉन हेल्महोल्ट्झने फॅराडेच्या संशोधनाचे महत्त्व वर्णन करताना, पुढील उद्गार काढले. प्राथमिक स्वरूपाचे पदार्थ अणूंचे बनलेले आहेत ही उपपत्ती आपण मान्य केली तर त्याबरोबर आपल्याला हेही मान्य करावे लागते की विद्युतही अत्यंत सूक्ष्म कणात विभागता येते व तिच्या सूक्ष्म कणांचे गुणधर्म विद्युत-अणूच्या गुणधर्मासारखे आहेत. हेल्म-होल्ट्झच्या बोलण्यातील विद्युतअणूचे नामकरण डब्लिनच्या जॉन्स्टन स्टोनेने केले. विद्युतअणूला त्याने इलेक्ट्रॉन असे नाव ठेवले. त्यावेळी इलेक्ट्रॉनवर विद्युतभार असतो एवढाच गुणधर्म अभिप्रेत होता. तो गुणधर्म धन की ऋण याबद्दल काहीही म्हटले गेले नव्हते.

एकोणिसाव्या शतकाच्या शेवटच्या दशकात, भौतिकशास्त्राच्या विविध माहितीमध्ये इलेक्ट्रॉनविषयीच्या माहितीने महत्त्वाची भर घातली. इलेक्ट्रॉनला भार आहे व इलेक्ट्रॉन सर्वत्र असतो असे ठरले. त्यावरचा विद्युतभार एवढेच त्याचे वैशिष्ठ्य नसून, सर्व प्रकारच्या वस्तुमात्रामध्ये त्याचे अस्तित्व अवश्य असते असेही मान्य झाले, इलेक्ट्रॉनविषयीची माहिती मिळविण्यात सर जे. जे. थॉमसनचे परिश्रम विशेषे करून कारणीभूत झाले असे मी म्हटले तर माझ्या पित्याबद्दल वाटणाऱ्या आदरबुद्धीने मी तसे बोलतो असे आपण कृपा करून समजू नये. इलेक्ट्रॉन व व प्लँकच्या उपपत्तीतील क्वांटा यांचा संबंध जोडून देण्याचे काम बोरने केले आणि त्यामुळे इलेक्ट्रॉनविषयीचे एक स्वतंत्र यंत्रशास्त्र तयार झाले. यानंतर काही वर्षांनी ए. एच. कॉम्प्टनच्या सूचनेवरून गौडश्मिट व उलेनबेक यानी इलेक्ट्रॉनला स्पिन किंवा फिरकी असते असे सिद्ध करणारा पुरावा मिळविला.

इलेक्ट्रॉनवर विद्युतभार असतो, त्याचा भार मोजता येतो, त्याला फिरकी असते आणि त्याच्याविषयीचे स्वतंत्र यंत्रशास्त्र तयार झाले तरी भौतिकीशास्त्रात इतकी प्रायोगिक माहिती गोळा झाली होती की तिचे स्पष्टीकरण इलेक्ट्रॉनच्या गुणधर्माच्या सहाय्याने करता येत नव्हते. कोणत्याही गतिवान कणाचा व विशेषेकरून इलेक्ट्रॉनचा तरंगप्रणालीशी संबंध असतो असे लुई डीब्रॉलीने सिद्ध केले. या तरंगांचे जास्त अचूक मापन श्रॉडिंजर आणि डिरॅक यानी केले, व इलेक्ट्रॉनच्या किंवा ऋणकणाच्या फिरकीचा जास्त विचार केला.

कॅथोड किरणांची एक निरुंद शलाका धातूच्या पातळ पत्र्यातून आम्ही जाऊ दिली. धातूच्या पत्र्यातून गेल्याने विकरण पावलेले कॅथोड किरण आम्ही त्या किरणाशी काटकोनात ठेवलेल्या फोटोग्राफिक प्लेटवर पडू दिले. ती प्लेट डेव्हलप केल्यावर, केन्द्रस्थानी काळा ठिपका आणि त्याभोवती एककेंद्रिय वर्तुळाकार वलये मिळाली. डेबी व शेरर यानी आमच्यासारखाच प्रयोग क्ष किरणांच्या बाबतीत केला होता. स्फटिक चूर्णातून क्षकिरण धाडून, ते फोटोग्राफिक प्लेटवर पडू दिल्यावर, त्याना फोटोग्राफिक प्लेटवर केन्द्रस्थानी काळा ठिपका आणि त्याभोवती एककेन्द्रीय वर्तुळाकार वलये मिळाली होती. दोन्ही प्रकारच्या फोटोग्राफमध्ये मिळणाऱ्या रेषांच्या साम्यावरून, आम्हाला आढळून आलेला प्रकार प्रतिरोधामुळे घडून आला असावा असे अनुमान निघत होते. कॅथोड किरणांचे घटक असणाऱ्या ऋणकणाशी संबंधित असलेल्या व पुढे पुढे येणाऱ्या तरंगातील एका लहानशा तरंगाचे विकरण, धातूच्या पातळ पत्र्यातील प्रत्येक अणूने केले तर हा प्रकार घडून येईल. धातूच्या अत्यंत सूक्ष्म स्फटिकामध्ये धातुअणू अगदी प्रमाणबद्ध तऱ्हेने एकमेकाजवळ असल्याने, एका विशिष्ट दिशेने विकरण झालेल्या प्रत्येक सूक्ष्म तरंगांच्या कलांचा परस्पराशी काही तरी निश्चित संबंध असला पाहिजे. काही दिशांना विकरण पावलेल्या तरंगांच्या कला एकमेकाशी जुळत्या असतील आणि त्यामुळे ते तरंग परस्परास पुष्टी देतील व एक जोरदार तरंग मिळेल. तर काही दिशांना विकरण पावलेल्या तरंगांच्या कला परस्पराविरुद्ध असतील आणि प्रतिरोधामुळे ते तरंग परस्परास नष्ट करतील. जोरदार किंवा बलशाही तरंग, ग्रेटिंगमुळे किंवा रेखापट्टीने वक्रीभवन झालेल्या प्रकाशशलाकेसारखे आहेत. धातुस्फटिकातील अणुरचना कशी असते ते क्षकिरणांच्या सहाय्याने अगोदरच आम्ही ठरवले होते. डीब्रॉलीच्या उपपत्तीप्रमाणे गतीमान ऋणकणाशी संबंधित तरंगलांबी (h/mv) एवढी असते. २० ते ६०००० व्होल्टला मिळवलेल्या कॅथोड किरणातील ऋणकणाशी संबंधित तरंगलांबी ८×१७^{-९} से. मी. ते ५×१०^{-९} से. मी. इतकी असते.

फोटोग्राफिक प्लेटवर आम्हाला मिळालेली वर्तुळाकार वलयरचना व विकरण पावलेल्या जोरदार क्षकिरण तरंगांची विभागणी याविषयी मी मांडलेले गणित बरोबर असल्याचे दिसून आले. प्रयोगातील प्रतिशत एकटक्का संभाव्य चूक लक्षात घेता, गणिती उत्तरातील व प्रायोगिक उत्तरातील एकवाक्यता फारच चांगली होती. आमच्या प्रयोगात, सोईस्कररीत्या घेता येईल असा एकही स्थिरांक नाही. क्षकिरणांच्या सहाय्याने समजून आलेल्या आकृतीबंधाचे सर्वसाधारण स्वरूप नक्की होतेच, इतकेच नाही तर स्फटिकाच्या रचनेवरून त्याच्या पृष्ठभागाशी जे पातळ अणुस्तर असल्याचे समजून येते, त्या पातळ अणुस्तरांचा तपशीलही समजून येतो. यानंतर केलेल्या संशोधनाने आमचे अगोदरचे निर्णय बरोबर असल्याचे नक्की झाले. यानंतर माझ्या प्रयोगशाळेत व इतरत्र, आम्ही घेतले त्या प्रकारचे हजारो फोटोग्राफ घेण्यात आले. त्यातील एकाही फोटोग्राफमध्ये उपपत्ती व प्रात्यक्षिक यामध्ये काही फरक असल्याचे दिसले नाही. उपकरणात सुधारणा झाल्यानंतर, प्रयोगातून मिळणाऱ्या माहितीतील अचूकता जास्त वाढली आहे. उप्साला विद्यापीठाचे व्ही. क्रेसेन यानी तयार कलेल्या उपकरणामुळे मापनातील अचूकता हजार भागात एक भाग संभाव्य चूक इतकी वाढली आहे.

आमच्या प्रयोगातील दोन फेरबदल येथे सांगणे अवश्य आहे असे मला वाटते. पहिल्या फेरबदलामध्ये, धातुपत्र्याच्या पृष्ठभागावरच्या पातळ स्तरातून ऋणकण पुढे गेल्यानंतर, त्यांच्यावर एकरूप चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम घडवून आणला जातो. त्यामुळे त्या ऋणकणांच्या मार्गाचे वक्रीभवन होते. फोटोग्राफिक प्लेटवर जे ऋणकण आदळण्याने वर्तुळाकार आकृतीबंध तयार होतो, त्या ऋणकणांच्या मार्गाचे आणि पृष्ठभागातील पातळ स्तरातल्या मोकळ्या जागातून जे ऋणकण पुढे आलेले असतात त्या ऋणकणांच्या मार्गाचे सारखेच वक्रीभवन होते. त्यामुळे चुंबकीय क्षेत्रामुळे जाण्याच्या मार्गाचे वक्रीभवन होण्याचा गुणधर्म ज्या ऋणकणामध्ये कायम असतो त्या ऋणकणांच्या आघातामुळे फोटोग्राफिक प्लेटवर आकृतीबंध तयार होतो. क्षकिरणामुळे मिळणाऱ्या आकृतीबंधापेक्षा ऋणकणानी मिळणारा आकृतीबंध भिन्न असतो आणि तो ऋणकणांचा एक गुणधर्म आहे असे दिसते. दुसरा फेरबदल प्रायोगिक तंत्रात आहे. ज्यातून ऋणकण पलीकडे जाऊ शकतील अशी पटले तयार करावी लागतात, ती पटले तयार करण्याची जरूर पडू नये यासाठी ऋणकणांच्या परावर्तनाचा उपयोग करून घेता येईल अशा प्रकारचे उपकरण तयार करण्यात आले असून, त्यामध्ये वापरलेल्या ऋणकणांचा मार्ग पदार्थाच्या पृष्ठभागाशी अत्यंत अल्प कोन करतो. जवळ जवळ प्रत्येक प्रयोगात पृष्ठ-

भागाच्या अगदी वरच्या स्तरातून पलीकडे गेलेल्या ऋणकणामुळे फोटोग्राफिक प्लेटवर आकृतीबंध मिळतो असे दिसते. इतर प्रयोगात म्हणजे ज्या प्रयोगात स्फटिकाच्या फूट (cleavage) पृष्ठभागावर ऋणकण आदळतात, त्यावेळी स्फटिकाच्या ब्रॅग पृष्ठभागावरून ऋणकणांचे परावर्तन होत असते.

डी ब्रॉलीच्या उपपत्तीत योग्य ते फेरबदल करून श्रॉडिंजरने तिची सुधारित आवृत्ती तयार केली. त्या सुधारित आवृत्तीला तरंग यंत्रशास्त्र या नावाने ओळखतात. हे तरंग यंत्रशास्त्र अण्विक भौतिकीशास्त्राचा पाया ठरले आहे. वेगवेगळ्या विविध प्रकारच्या बाबतीत ते यशस्वीरीत्या वापरले गेले आहे. परंतु त्या यंत्रशास्त्रातील अवघड गणितामुळे ते वापरून, तात्त्विक दृष्टया मिळालेले उत्तर आणि प्रयोगाने मिळालेले उत्तर पडताळून पाहाणे शक्य होत नव्हते. जलदगती ऋणकणांचे स्फटिकाकडून होणारे वक्रीभवन ही अगदी कस्सून प्रकारची तपासणी आहे. त्यामुळे तात्त्विक विचारसरणीवरून काढलेली आणि प्रयोगाने आमच्या पद्धतीने काढलेली उत्तरे यात किती एकवाक्यता आहे हे पाहाणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

क्षकिरणवक्रीभवनाच्या बाबतीत जे गणित मांडतात, तेच गणित आमच्या या प्रयोगात मांडता येते. यात वक्री भवन झालेल्या शलाकेची दिशा ठरविताना, एकच गोष्ट गृहित धरायची आहे. ती ही की, खूप खोलवर असलेले तरंग आणि बऱ्याच अणूवर पसरलेली अेकपातळीय तरंगआघाडी यांचा आपल्याला विचार करायचा आहे.

तरंगप्रणालीचा बाजूला आणि पुढे किती अल्पतम विस्तार झाला आहे हे रेषांच्या काटेखोर तीक्ष्ण ठळकतेवरून समजून येते. व्ही. क्रीसेनच्या आकड्यावरून गणित केल्यास दोनशे अँगस्ट्रामहून जास्त लांबीच्या आघाडीच्या पुढे मागल्या टोकापासून पुढच्या टोकापर्यन्त निदान दोनशे पंचवीस तरंग असतात.

परंतु तरंगांच्या भौतिकी अर्थाचा विचार करायला लागल्यास अेक अडचण उभी राहाते. खरे सांगायचे तर, तरंग जेथे जोरदार किंवा बलवान असतात तेथेच ऋणकण फोटोग्राफिक प्लेटवर काळा ठिपका उमटवितात. बोर, बॉर्न आणि श्रॉडिंजर यांचे मत ग्राह्च धरून आपल्याला असे म्हणता येईल की कोणत्याही स्थानाच्या तरंगाच्या तीव्रतेवरून, तेथे ऋणकण असण्याची संभाव्यता मोजता येते. फोटोग्राफिक प्लेटवर मिळालेल्या वर्तुळाकार वलयांची सापेक्ष तीव्रता मोजल्यास

या मतास दुजोरा मिळतो. हे मत मात्र सर्वसाधारण कल्पनाना धरून नाही. तरंगांच्या एका ठराविक समुच्चयाशी संबंध असलेल्या स्थानीच कण का दिसून यावा ? तरंगांचा परिणाम चूर्णाच्या माध्यमातूनच का दिसून यावा ? या प्रयोगामध्ये प्रत्येक ऋणकण फोटोग्राफिक प्लेटच्या एकाच सूक्ष्म स्थानी संवेदना निर्माण करतो आणि त्या विशिष्ट स्थानी ऋणकणाच्या मार्गाचे वक्रीभवन झालेच नव्हते अशा प्रकारची भेदक आणि फोटोग्राफिक प्लेटवर परिणाम घडवून आणण्याची शक्ती त्या ऋणकणामध्ये असते हे मात्र आग्रहपूर्वक सांगायला पाहिजे. ध्वनितरंगामध्ये किंवा पाण्यावरील तरंगामध्ये जशी सर्वत्र ऊर्जेची वाटणी झालेली असते, तशी या तरंगामध्ये ऊर्जेची वाटणी झालेली असते असे समजता येत नाही. ज्या ठिकाणी ऋणकण दिसून येतो तेथेच तरंगांचा परिणाम झाल्याचे दिसून येते.

फोटोग्राफिक प्लेटवर मिळणाऱ्या आकृतीबंधाचा काटेखोर ठळकपणावर किंवा तीक्ष्णतेवर स्फटिकाच्या आकारमानाच्या परिणामावरून असे दिसते की तरंगांच्या संपूर्ण आघाडीवर जे काही घडते त्याचा परिणाम न्यूटोनियन कणांच्या गतीवर होत नाही, पण ऋणकणांच्या गतीवर होतो. दृष्टिकोनातला हा फरक मूलभूत स्वरूपाचा आहे आणि सर्वसाधारण यांत्रिकी कल्पना आपल्याला सोडून देणे भाग आहे. ऋणकणांचा मार्ग अनन्य किंवा असाधारण नाही. तरंगाची ऊर्जा सतत सारखी वाटली जात नाही, आणि निर्णायकत्वापेक्षा संभाव्यताच निसर्गात दिसून येते.

पृष्ठभाग—परिणामांचा अभ्यास करण्यासाठी ऋणकण-वक्रीभवन फार उत्तम प्रकारे वापरता येते. क्षकिरणवक्रीभवनामुळे विविध प्रकारच्या घन व द्रव पदार्थांतील अणूंची रचना ठरविता येते. क्षकिरण अतिशय भेदक असतात. त्यामुळे पदार्थाच्या पृष्ठभागाची विशिष्ट वेगळी रचना क्षकिरण वक्रीभवनाने समजून येत नाही कारण एकंदर वस्तूचा क्षकिरणावर जो परिणाम घडून येईल त्या मानाने पृष्ठभागाचा क्षकिरणावरील परिणाम अगदी नगण्य असतो. ऋणकणांचा परिणाम पृष्ठभागाशी असलेल्या अणूवर दिसून येतो किंवा फार तर पृष्ठभागाखालच्या आठ-दहा अणूवर दिसून येतो. त्यामुळे पृष्ठभागाच्या अभ्यासासाठी ऋणकणमार्गाच्या वक्रीभवनाचा अभ्यास हे एक उत्कृष्ट साधन आहे. पृष्ठभागावरून वक्रीभवन झालेल्या ऋणकणशलाकांच्या अभ्यासाने पुष्कळदा पृष्ठभागातील अणूंची रचना समजून येते. अशा प्रकारे बऱ्याचशा पृष्ठभागांचा मी अभ्यास केला आहे. त्यातील फक्त एकाच पृष्ठभागाची मी येथे माहिती देणार आहे. चकचकित

पृष्ठभाग असलेल्या धातूबद्दल मी बोलणार आहे. बऱ्याच वर्षापूर्वी सर जॉर्ज बीली यानी अशा धातूबद्दल एक कल्पना मांडली होती. धातूचा चकचकीत पृष्ठभाग, धातूच्या पृष्ठभागाला झळाळी देण्यामध्ये किंवा चकचकीत करण्यामध्ये ओघवती झालेल्या व नंतर अतिशीत झालेल्या द्रवासारखा आहे असे सर बीली यांचे म्हणणे होते. लंडनच्या इंपिरियल कॉलेजमध्ये ऋणकणवक्रीभवनाविषयी केलेल्या प्रयोग-मालिकामुळे बीली यांचे म्हणणे खरे असल्याचे सिद्ध झाले. चकचकीत धातूच्या पृष्ठभागाविषयी डॉ. कॉच्रेन यानी जे संशोधन नुकतेच पुरे केले आहे, त्यावरून धातूच्या पृष्ठभागावरचा हा अस्फटिकी स्तर जोपर्यन्त धातूला जोडलेला असतो किंवा धातूशी संलग्न असतो तोपर्यन्त स्थिर असतो. पण धातूपासून हा स्तर वेगळा काढल्यास त्यामध्ये अस्थिरता निर्माण होते आणि काही तासातच त्याचे स्फटिकी-करण होते. पेट्रोल वापरणाऱ्या इंजिनातील दंडगोलांच्या व पिस्टनच्या पृष्ठभागा-विषयी प्रो. फिंच याने अशाच प्रकारचे संशोधन केले असून, त्या पृष्ठभागाबद्दल महत्त्वाची माहिती मिळविली आहे.

संशोधनाचे परिणाम

थॉमसनच्या संशोधनाच्या परिणामाचे वेगळे वर्णन देण्याची जरूर नाही.

— — — —

१९३८

ओन्रिको फर्मी

(१९०१ – १९५४)

"शून्यकणांचा मूलतत्त्वावर मारा करून नवीन किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वे तयार केल्याबद्दल व मंदगती ऋणकणांच्या सहाय्याने अणुगर्भीय प्रक्रिया घडवून आणण्याच्या शोधाबद्दल नोबेल पारितोषिक"

चरित्र

२९ सप्टेंबर १९०१ रोजी इटलीची राजधानी रोम या शहरामध्ये ओन्रिको फर्मीचा जन्म झाला. त्याचे वडील इटलीच्या रेल्वे खात्यात एक अधिकारी होते व आई शिक्षिका होती. रोममध्ये शालेय शिक्षण पुरे केल्यानंतर, गणित आणि भौतिकीशास्त्र या विषयातील प्राविण्याबद्दल शिष्यवृत्ती मिळवून, १९१८ मध्ये त्याने पिसा विद्यापीठात प्रवेश मिळविला. १९२२ साली त्या विद्यापीठाची भौतिकशास्त्रातली पीएच्. डी. पदवी संपादन केली. त्यानंतर काही काळ त्याने गॉटिन्जेन येथील मॅक्स बॉर्न यांच्या मार्गदर्शनाखाली संशोधन केले. त्यानंतर लेडन विद्यापीठात थोडेसे संशोधन करून तो १९२४ मध्ये इटलीस परतला.

अेन्रिको फर्मी

अर्नेस्ट ऑर्लँडो लॉरेन्स

इटलीतील फ्लॉरेन्स विद्यापीठाने त्यास गणिती भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. तीन वर्षानंतर १९२७ मध्ये रोम विद्यापीठाने त्यास भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमल्याने तो रोमला आला. तेथे तो १९३८ पर्यंत होता. इटलीमधील ज्यू विरोधी कायदे पसंत न पडल्याने व आपली पत्नी ज्यू असल्याने, त्याने नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर, स्वीडनहून थेट अमेरिकेला प्रयाण केले. त्याचे भौतिकशास्त्रातील प्राविण्य लक्षात घेऊन कोलंबिया विद्यापीठाने त्यास अमेरिकेस आल्याबरोबर भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. १९४६ मध्ये शिकागो विद्यापीठाने त्यास प्राध्यापक नेमल्याने त्याचे वास्तव्य तेव्हापासून १९५४ मध्ये त्याचा मृत्यू होईपर्यन्त शिकागोमध्ये होते. अणुबॉम्बविषयीचे त्याचे संशोधन तो अमेरिकेत आल्यानंतरच्या चार-पाच वर्षातले आहे. अणुबॉम्ब शक्यतेच्या कोटीत त्याने आणल्याने, पुष्कळदा त्यास अणुयुगाचा जनक असे म्हणतात.

अमेरिकेच्या फ्रॅन्कलिन इन्स्टिटयूटने १९४७ मध्ये त्यास फ्रॅन्कलिन पदक अर्पण केले. येल, कोलंबिया, वॉशिंग्टन, युट्रेक्ट आणि हायडेलबर्ग या विद्यापीठानी आपली माननीय डॉक्टरेट पदवी त्यास बहाल करून आपली गुणग्राहकता व्यक्त केली आहे. इटलीतील व इतर देशातील कित्येक नामवंत संस्थानी त्यास आपले सभासदत्व दिले आहे. अमेरिकन फिझिकल सोसायटी व अमेरिकन फिलॉसॉफीकल सोसायटी या संस्थानीही त्यास आपला सभासद करून घेतले होते.

२९ नोव्हेंबर १९५४ रोजी, त्यास शिकागो येथे मृत्यू आला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

१९३२ मध्ये चॅडविकने शून्यकणाचा शोध लावला. शून्यकणावर किंवा न्युट्रॉनवर विद्युतभार नाही व त्याचा भार प्रोटॉनच्या किंवा धनकणाच्या भाराइतका आहे. शून्यकणाच्या शोधामुळे अणुगर्भाच्या रचनेविषयीच्या उपपत्तीत महत्त्वाचे बदल करावे लागले, इतकेच नाही तर मूलतत्त्वावर कणांचा मारा करून, त्यात बदल घडवून आणण्याकरिता अल्फा कण व धनकण यापेक्षा जास्त परिणामकारक कण भौतिकीशास्त्रज्ञाना उपलब्ध झाले. अल्फा कणांचा व धनकणांचा मूलतत्त्वावर मारा केल्यास मूलतत्त्वांच्या अणुगर्भावरील धनविद्युतभार त्या धनविद्युतभारवाही कणाना मागे लोटतील, त्यांचा वेग कमी करतील, त्यामुळे त्यांची ऊर्जा कमी होते व ते कण अणुगर्भापर्यन्त पोचत नाहीत, व मूलतत्त्वात बदल घडवून आणण्याच्या दृष्टीने परिणामकारक ठरत नाहीत. त्याउलट

शून्यकणावर विद्युतभार नसल्याने, ते थेट अणुगर्भापर्यन्त जातात व त्यांच्या माऱ्यामुळे मूलतत्त्वांच्या अणुगर्भात बदल घडून येतो.

जलदगती ड्युटेरॉन किंवा एक धनकण व एक शून्यकण मिळून तयार झालेल्या जड हायड्रोजनच्या अणुगर्भाचा मूलतत्त्वावर मारा केल्यास, मूलतत्त्वामध्ये फरक घडवून आणता येतात असे लॉरेन्सने (यास १९३९ साली नोबेल पारितोषिक मिळाले) १९३३ साली दाखवले. पण दुसऱ्या कोणत्याही अणुगर्भाप्रमाणे ड्युटेरॉनवर धनविद्युतभार असल्याने, मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भावरील धनविद्युतभारामुळे त्यांचा वेग कमी होतो व ते सुद्धा व्हावे तितके परिणामकारक ठरत नाहीत. शिवाय दोन धनविद्युतभारवाही कणामधील प्रतिसारण त्या कणावरील विद्युतभारावर अवलंबून असते. त्यामुळे मूलतत्त्वाचा अणू जितका मोठा तितका त्याच्या अणुगर्भावरील विद्युतभार जास्त आणि तितक्या प्रमाणात त्याकडून मारा केलेल्या कणास जास्त प्रतिसारण होत असते. त्यामुळे कमी किंवा साधारण भार असलेल्या अणूवर ड्युटेरॉनचा मारा यशस्वी होतो व जास्त अणुभाराच्या मूलतत्त्वावर त्याचा मारा परिणामकारक ठरत नाही. अशा प्रसंगी शून्यकणांचा जास्त उपयोग होतो. त्यावर विद्युतभार नसल्याने ते मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भापर्यन्त सहज पोचू शकतात व त्यावर आघात केल्यानंतर त्यांचे कार्य सुरू होते. मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भापर्यन्त पोचण्याकामी शून्यकण धनकणांच्या मानाने किती परिणामकारक आहेत हे समजण्यासाठी पुढील एकच उदाहरण पुरेसे आहे. शून्यकण शिशामध्ये वीस सेन्टीमीटरपर्यन्त जाऊ शकतात तर त्याउलट धनकण फक्त १/४ मिलीमीटरपर्यन्त जाऊ शकतात. त्यामुळे अणुगर्भावर मारा करण्यासाठी शून्यकणाइतके परिणामकारक साधन नाही.

अणुगर्भावर शून्यकणाचा आघात झाल्यावर काय होते ते आपण विल्सन मेघपात्रात पाहू शकतो. शून्यकणावर विद्युतभार नसल्याने त्याच्या मार्गाचा मागोवा आपल्याला घेता येत नाही. पण अणुगर्भावर शून्यकणाचा आघात झाल्यावर अणुगर्भातून जे विद्युतभारवाही कण बाहेर पडतात त्यांच्या मार्गांचा मागोवा आपण घेऊ शकतो. कारण त्यांच्या मार्गाचा ठसा आपल्याला विल्सन मेघपात्रात मिळतो. दोन किंवा कधी त्याहून अधिक मार्ग एका सामाईक बिंदूपासून निघालेले दिसतात. ज्या अणुगर्भावर शून्यकण आदळतो, तो अणुगर्भ पुढे लोटला गेल्याने, त्यापैकी एक मार्ग असतो आणि इतर दुसरे मार्ग अणुगर्भातून बाहेर पडणाऱ्या विद्युतभारवाही कणामुळे मिळत असतात. अणुगर्भावर शून्यकण आदळल्यावर ज्या प्रक्रिया घडून

येतात, त्यांत खूप विविधता आहे. १९३३ पासून अशा अणुगर्भीय प्रक्रियांचा अभ्यास चालू आहे, व त्या अभ्यासामुळे विज्ञानक्षेत्रात अणुगर्भीय रसायनशास्त्र या नावाचे एक नवीन संशोधनक्षेत्र निर्माण झाले आहे. या अणुगर्भीय रसायनशास्त्रातील अभिक्रिया रसायनशास्त्रातील नेहमीच्या अभिक्रियाप्रमाणे समीकरणाने दाखवतात. बेरिलियमवर अल्फा कणांचा मारा केल्यास कार्य होते ते पुढील समीकरणाने दाखवता येते.

$$ {}^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n $$

${}^{9}_{4}Be$ म्हणजे बेरिलियमच्या अणुगर्भाचा भारक्रमांक नऊ आहे आणि त्यावरचा विद्युतभार $+4e$ (चार ऋणकणावरील विद्युतभाराइतका पण धनविद्युतभार) आहे. ${}^{4}_{2}He$ म्हणजे अल्फा कण किंवा हेलियमचा अणुगर्भ याचा भारक्रमांक चार आहे आणि विद्युतभार $+2e$ आहे. बेरिलियमवर अल्फा कणांचा मारा केल्याकर ${}^{12}_{6}C$ मिळतो. म्हणजे कार्बनचा अणुगर्भ मिळतो. याचा भारक्रमांक बारा आहे व त्यावरील विद्युतभार $+६e$ आहे. या अभिक्रियेत एक शून्यकण बाहेर पडतो. तो ${}^{1}_{0}n$ या चिन्हाने दाखवला आहे. त्या शून्यकणाचा भारक्रमांक एक आहे व त्यावरील विद्युतभार शून्य आहे.

नायट्रोजनच्या अणुगर्भावर शून्यकणाचा मारा केल्यास पुढील अभिक्रिया घडून येते.

$$ {}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{4}_{2}He $$

म्हणजे या अभिक्रियेत बोरॉनचा अणुगर्भ आणि अल्फा कण मिळतो. तर कधी कधी नायट्रोजनवर शून्यकणांचा मारा केल्यावर लिथियमचा अणुगर्भ व दोन अल्फाकण मिळतात. ही अभिक्रिया

$$ {}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{7}_{3}Li + 2{}^{4}_{2}He $$

या समीकरणाने दाखवतात. तर क्वचित प्रसंगी वर दाखवलेल्या दोन प्रकारे अभिक्रिया घडून न येता, ती तिसऱ्याच प्रकारे घडून येते. हा तिसरा प्रकार

$$ {}^{1}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H $$ असा आहे.

म्हणजे नायट्रोजनच्या अणुगर्भावर शून्य कणांचा मारा केल्यास, चौदा भार-क्रमांकाचा व $+6e$ विद्युतभार असणारा कार्बनचा अणुगर्भ मिळतो. धनकणाचा भारक्रमांक एक व त्यावरील विद्युतभार $+e$ आहे. थोडक्यात 'नायट्रोजनच्या अणुगर्भावर शून्यकणांचा मारा केल्यास तीन वेगवेगळ्या अभिक्रिया घडून येणे शक्य आहे. या तीनही अभिक्रिया पुढील समीकरणाने दाखवता येतात.

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \left| \begin{array}{l} \rightarrow \ ^{11}_{5}B + ^{4}_{2}He \\ \rightarrow \ ^{7}_{3}Li + 2^{4}_{2}He \\ \rightarrow \ ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H \end{array} \right.$$

या अभिक्रियामध्ये, ज्या अणुगर्भावर शून्यकणांचा मारा करावा, तो अणुगर्भ शून्यकणाला स्वतामध्ये सामावून घेतो व मग त्यानंतरची अभिक्रिया घडून येते. त्यामुळे अणुगर्भीय अभिक्रियांच्या समीकरणात, समीकरणाच्या डाव्या बाजूकडील भारक्रमांकाची बेरीज व विद्युतभारांची बेरीज उजव्या बाजूकडील भारक्रमांकांच्या बेरजेइतकी व विद्युतभारांच्या बेरजेइतकी असते.

वर दाखवलेल्या अभिक्रियामध्ये दाखवलेले अणुगर्भ स्थिर अणुगर्भ आहेत. पोलोनियमपासून मिळणाऱ्या अल्फा कणांचा ॲल्युमिनियमवर मारा करण्याचा प्रयोग १९३३ मध्ये क्युरी आणि ज्योलिओ यानी केला. त्यावेळी ॲल्युमिनियम-मधून शून्यकण बाहेर पडले आणि त्याचे फॉस्फरसच्या अेकस्थानीमध्ये रुपांतर झाले. ही अभिक्रिया

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$$

या समीकरणाने दाखवता येते. या अभिक्रियेत तयार झालेला तीस अणुभाराचा फॉस्फरसचा एकस्थानी अस्थिर व किरणोत्सर्गी असतो. हा एकस्थानी किरणोत्सर्गी असतो असे म्हणण्याचे कारण ॲल्युमिनियमवर होणारा अल्फा कणांचा मारा थांबवल्यावरही, त्या ॲल्युमिनियममधून किरणोत्सर्ग चालू असतो व तो किरणोत्सर्ग म्हणजे तयार झालेल्या फॉस्फरसमधून होणारा किरणोत्सर्ग काही ठराविक व विशिष्ट वेळेत मूळच्या निम्म्याइतका होतो. तीस अणुभाराच्या फॉस्फरसमधून पॉझिट्रॉनच उत्सर्ग होत असतो आणि तो उत्सर्ग २.५५ सेकंदात मूळच्या निम्मा होतो. किरणोत्सर्गी फॉस्फरसमधून पॉझिट्रॉन गेल्याने त्याचे सिलिकॉनमध्ये रूपांतर पुढे दाखवल्याप्रमाणे होते.

$$^{30}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + ^{0}_{1}e$$

$^{0}_{1}e$ म्हणजे पॉझिट्रॉन. त्याचा भार ऋणकणाइतका म्हणजे जवळ जवळ शून्य असतो आणि त्यावर $e+$ इतका विद्युतभात असतो. यासारख्या अभिक्रिया बोरॉन आणि बेरिलियमवर अल्फा कणांचा मारा केल्यावर घडून येतात. त्यावेळी तयार होणाऱ्या किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वातून सुद्धा पॉझिट्रॉन बाहेर पडतात.

१९३३ च्या उत्तरार्धात फर्मीने कृत्रिम किंवा प्रवृत्त किरणोत्सर्गाच्या अभ्यासास सुरवात केली. अणूवर अल्फा कणांचा किंवा धनकणांचा मारा करण्याऐवजी त्याने मूलतत्त्वावर शून्यकणांचा मारा केला. शून्यकण मिळविण्या-साठी वायूने भरलेल्या बल्बमध्ये त्याने बेरिलियमचे चूर्ण ठेवले. रेडीयममधून अल्फा कण उत्सर्जित झाल्यावर त्याचे किरणोत्सर्गी रेडॉन वायूमध्ये रूपांतर होत असते व त्यातूनही अल्फा कणांचे उत्सर्जन चालू असते. रेडॉनमधून बाहेर पड-णाऱ्या अल्फा कणांच्या माऱ्याने, बेरिलियमचे कार्बनमध्ये रूपांतर झाले, व शून्यकणांचे उत्सर्जन सुरू झालें. ही अभिक्रिया कशी घडून येते हे या आधी दाखवले आहेच. अशा अतिशय पद्धतशीर रीतीने फर्मीने निरनिराळ्या मूलतत्त्वावर शून्य-कणांचा मारा केला, व त्यात होणाऱ्या फरकांचा अभ्यास केला. निरनिराळ्या मूलतत्त्वावर शून्य कणांचा मारा करण्याचे प्रयोग सहाएक महिने केल्यानंतर फर्मीला एक महत्त्वाचा शोध लागला. बेरिलियममधून बाहेर पडणाऱ्या शून्यकणांचा वेग, त्यांच्या मार्गात पॅराफिन किंवा पाणी यासारखे हायड्रोजनचे प्रमाण जास्त असलेले पदार्थ ठेवल्यास कमी होतो. म्हणजे थोडक्यात जलदगती शून्यकणांचे मंद-गती शून्यकणात रूपांतर होते. हे मंदगती शून्यकण अणुगर्भीय अभिक्रिया घडवून आणण्याच्या कामी जलदगती शून्यकणापेक्षा जास्त परिणामकारक ठरतात असे त्यास आढळून आले. मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भावर शून्यकण आदळल्यावर, तो अणुगर्भ शून्यकणाला स्वतामध्ये सामावून घेतो, किंवा शून्यकण अणुगर्भावर आदळण्याने अणुगर्भाचे विघटन होते. परंतु हायड्रोजनच्या अणुगर्भावर म्हणजे धनकणावर शून्यकण आदळल्यास, धनकण शून्यकणाला स्वतामध्ये सामावून घेतो व त्यामुळ ड्युटेरॉनचा अणुगर्भ तयार होतो. शून्यकण धनकणावर आदळण्याने त्याचे विघटन होत नाही. त्यामुळे शून्यकण धनकणावर म्हणजे हायड्रोजनच्या अणुगर्भावर आदळण्याने शून्यकणांचा वेग कमी होतो.

नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर फर्मीने नोबेल व्याख्यान आपल्या मातृभाषेत म्हणजे इटलियन भाषेत न देता इंग्रजीमध्ये दिले. शून्यकणांचा मूलतत्त्वावर मारा करण्यासंबंधीचे प्रयोग त्याने त्या व्याख्यानात वर्णिले आहेत. त्या व्याख्यानातील काही भाग पुढे दिला आहे.

" कमी अणुभाराच्या मूलतत्त्वावर जलदगती कण आदळल्यास, त्या मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भाचे विघटन होते असे रदरफोर्डने दाखवले आहे. अणुगर्भावर अल्फा कणांचा मारा केल्यास, अल्फा कण पुष्कळदा अणुगर्भात सामावला जातो व त्या अणुगर्भातून एक वेगळाच कण—पुष्कळदा धनकण—उत्सर्जित होतो असे त्याला आढळले होते. अल्फाकण सामावून घेणे आणि धनकणाचे उत्सर्जन करणे ही प्रक्रिया पूर्ण झाल्यानंतर मिळणारा अणुगर्भ, त्यावरील विद्युतभार आणि अणुभार याबाबतीत मूळच्या अणुगर्भाहून भिन्न असतो.

अणुगर्भाचे विघटन झाल्यानंतर मिळणारा अणुगर्भ पुष्कळदा स्थिरस्वरूपी असतो आणि विश्लेषणांती तो कोणत्या मूलतत्त्वाचा अणुगर्भ आहे हे ओळखता येते. पण कधी कधी तसा प्रकार घडून येत नाही. विघटन फलरूपी अणुगर्भ कोणत्याही नैसर्गिक अणुगर्भाहून भिन्न असतो. त्यामुळे विघटन फलरूपी अणुगर्भ स्थिरस्वरूपी असत नाही. त्याचे विघटन होते. त्याचे सरासरी आयुष्य त्या अणुगर्भाचे वैशिष्ठ्य असते आणि विघटनाच्या वेळी त्यातून ऋणकण (इलेक्ट्रॉन) किंवा पॉझिट्रॉन बाहेर पडून शेवटी त्यास स्थिरस्वरूप प्राप्त होते. अणुगर्भावर कणांचा मारा केल्यानंतर काही वेळाने सुरू होणाऱ्या अणुगर्भाच्या विघटनास कृत्रिम किरणोत्सर्ग म्हणतात. ज्योलिओ आणि आयरिन क्युरी यानी १९३३ मध्ये कृत्रिम किरणोत्सर्गाचा शोध लावला.

पोलोनियमपासून मिळविलेल्या अल्फा कणांचा बोरॉन, मॅग्नेशियम व ॲल्युमिनियम या मूलतत्त्वावर मारा करून, त्या मूलतत्त्वात कृत्रिम किरणोत्सर्ग सुरू करता येतो असे या दोघा फ्रेंच संशोधकांनी दाखविले. नायट्रोजन, सिलिकॉन, आणि फॉस्फरस या मूलतत्त्वांचे किरणोत्सर्गी एकस्थानी त्यानी तयार केले आणि तारा केलेल्या मूलतत्त्वांच्या अणुपासून, या किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वांचे अणू रासायनिकदृष्टचा अलग करण्यात यश संपादन केले.

शून्यकण—मारा : ज्योलिओ व क्युरी यानी कृत्रिम किरणोत्सर्गाचा शोध लावल्यानंतर, लवकरच असे समजून आले की अणूवर मारा करून कृत्रिम

किरणोत्सर्ग सुरू करायचा असल्यास फक्त अल्फा कणच वापरले पाहिजेत असे नाही. इतरही जलदगती कण या कामासाठी वापरता येतात. तेव्हा मूलतत्त्वावर शून्यकणांचा मारा करून, त्यामुळे कोणती प्रक्रिया घडून येते हे पाहाण्याचे मी ठरविले.

अल्फा कणांच्या तुलनेने शून्यकणामध्ये एक उणीव होती. अल्फा कण पाहिजे तितक्या प्रमाणात मिळविता येतात, तर शून्यकण फारच थोड्या प्रमाणात मिळतात. शून्यकणामध्ये ही त्रुटी असली तरी त्यावर अजिबात विद्युतभार नसल्याने अणुगर्भाभोवती असणाऱ्या कुलंब क्षेत्रामुळे निर्मात झालेल्या धनविद्युत-भाराच्या बंधाऱ्यावर किंवा अडथळ्यावर मात करून तो त्याना ओलांडावा लागत नव्हता. त्यामुळे ते थेट अणुगर्भापर्यंत जाऊ शकत होते. शून्यकणांची ऋणकणाबरोबर काहीही रासायनिक अभिक्रिया घडून येत नसल्याने ते फार दूरवर जाऊ शकतात. त्यामुळे अल्फाकण किंवा धनकण यांच्यापेक्षा ते अणुगर्भावर आदळण्याची शक्यता जास्त आहे. खरे सांगायचे तर, अणुगर्भीय विघटन घडवून आणण्याच्या कामात शून्यकण चांगलेच कार्यक्षम आहेत हे माहीत झाले होते.

माझ्या या संशोधनात, काचेच्या मोठ्या बल्बमध्ये बेरिलियमचे चूर्ण आणि रेडॉन वायू यांचे मिश्रण वापरून मी शून्यकण मिळविण्याची सोय केली. आठशे मिली क्युरी रेडॉन बल्बमध्ये असल्यास २×१०^{७} इतके (दोन कोटी) शून्यकण दर सेकंदास बल्बमधून बाहेर पडतात. सायक्लोट्रॉन किंवा अत्युच्च व्होल्टेज नलिका वापरून मिळणाऱ्या शून्यकणांच्या संख्येपेक्षा ही संख्या खूप कमी आहे. परंतु लहान आकार, योग्य प्रकारचा अविचिलितपणा आणि उपकरणांचा साधेपणा ही बेरिलियम चूर्ण + रेडॉन वायू या मिश्रणाची वैशिष्ठ्ये आहेत.

शून्यकणांच्या या माऱ्याने घडवून आणलेल्या काही अणुगर्भीय अभिक्रिया :— शून्यकणांचा मारा केल्यावर, त्या मूलतत्त्वामधून किरणोत्सर्ग सुरू होत असल्याचे मला संशोधनाच्या पहिल्या प्रयोगापासून दिसून आले. शून्यकणांचा मारा केलेल्या महत्त्वाच्या किरणोत्सर्गाची कालाप्रमाणे कमी होत जाणारी तीव्रता अभ्यासल्यास, किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वास एकच सरासरी आयुष्य तर कधी कधी एकाहून अधिक आयुष्ये असल्याचे दिसून यायचे. म्हणजे कधी एक तर कधी एकाहून अधिक किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वे शून्यकणांच्या माऱ्याने तयार होत असल्याचे आढळायचे.

आवर्तन सारणीतील बहुतेक सर्व मूलतत्त्वावर शून्यकणांचा मारा केल्यावर काय परिणाम घडून येतो याचा मी आणि माझे सहकारी डागस्टिनो, पॉन्टेकॉर्वो,

रॅसेटी, अमाल्डी व सेग्रे यानी पद्धतशीर अभ्यास केला. मूलतत्त्वावर शून्य कणांचा मारा केल्यावर कोणते किरणोत्सर्गी मूलतत्त्व तयार होते हे ठरविण्याकरिता आम्ही बहुतेक प्रसंगी रासायनिक पृथ:करण करून पाहिले. काही अल्पजीवी किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वांच्या बाबतीत हे रासायनिक पृथ:करण एक मिनिटाच्या आत पार पाडावे लागे.

आम्ही प्रथम तयार केलेल्या किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वाविषयीचा आमचा अहवाल थोडक्यात असा आहे—पासष्ट मूलतत्त्वावर शून्यकणांचा मारा करण्याचे प्रयोग आम्ही केले. त्यापैकी सत्तावन्न मूलतत्त्वे शून्यकणांच्या माऱ्यानंतर किरणोत्सर्गी झाल्याचे आमच्या चटकन ध्यानात आले. त्या मूलतत्त्वांच्या अणुभाराचा व किरणोत्सर्ग करण्याच्या त्यांच्या क्षमतेचा काही संबंध असल्याचे दिसून आले नाही. रासायनिक पृथ:करण व एकस्थानी वाटपावरून काढलेले निष्कर्ष यांचा विचार करता, अणुगर्भीय अभिक्रिया खालील तीन प्रकारात मोडतात—

$$(1)\quad {}^{M}_{Z}A + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{M-3}_{Z-2}A + {}^{4}_{2}He$$

$$(2)\quad {}^{M}_{Z}A + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{M}_{Z-1}A + {}^{1}_{1}H$$

$$(3)\quad {}^{M}_{Z}A + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{M-1}_{Z}A$$

या समीकरणात ${}^{M}_{Z}A$ हे चिन्ह, ज्या मूलतत्त्वावर शून्यकणांचा मारा करायचा त्या M अणुभाराच्या व Z अणुक्रमांकाच्या मूलतत्त्वाबद्दल वापरले असून ${}^{1}_{0}n$ हे चिन्ह शून्यकणाबद्दल वापरले आहे.

कमी अणुभाराच्या मूलतत्त्वांच्या बाबतीत मुख्यत्वे करून (१) व (२) या अभिक्रिया दिसून येतात तर (३) प्रकारची अभिक्रिया, विशेषे करून जास्त अणुभाराच्या मूलतत्त्वांच्या बाबतीत दिसून आली. काही प्रसंगी या तीनही अभिक्रिया एकाच मूलतत्त्वाच्या बाबतीत एकाच वेळी घडत असल्याचे आढळून आले. उदाहरणार्थ सत्तावीस अणुभाराचा एकच एकस्थानी असणाऱ्या अॅल्युमिनियमवर शून्यकणांचा मारा केल्यास, तीन किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वे मिळतात. पहिल्या अभिक्रियेने चोवीस अणुभाराचे व पंधरा तास अर्धायुष्य असलेले सोडीयम ${}^{24}_{11}Na$ मिळते. दुसऱ्या अभिक्रियेने सत्तावीस अणुभाराचे व दहा मिनिटे अर्धायुष्य असणारे

मॅग्नेशियम ($^{27}_{12}Mg$) मिळते आणि तिसऱ्या अभिक्रियेने अठ्ठावीस अणुभाराचे आणि २–३ मिनिटे अर्धायुष्य असलेले ॲल्युमिनियम ($^{28}_{13}Al$) मिळते.

— — — —

मंदगती शून्यकण : शून्यकणांचा मारा करणारे बेरिलियम रेडॉन मिश्रण मारा करायच्या मूलतत्त्वापासून निरनिराळ्या अंतरावर ठेवल्यास, त्या मूलतत्त्वाभोवती काय आहे त्यावर, मूलतत्त्वामध्ये निर्माण होणाऱ्या किरणोत्सर्गाची तीव्रता अवलंबून आहे असे आढळून आले. या गोष्टीची काळजीपूर्वक तपासणी केल्यावर असे आढळले की शून्यकण निर्माण करणाऱ्या बेरिलियम-रेडॉन मिश्रणाभोवती व मारा करायच्या मूलतत्त्वाभोवती पॅराफिन ठेवल्यास मूलतत्त्वातून होणाऱ्या किरणोत्सर्गाची तीव्रता शंभरपटीने वाढते. पॅराफिन मूलतत्त्वाभोवती ठेवण्याने किरणोत्सर्गाच्या तीव्रतेवर जो परिणाम दिसून येतो तोच परिणाम हायड्रोजनचे प्रमाण किंवा टक्केवारी जास्त असणारा पदार्थ मूलतत्त्वाभोवती ठेवण्याने दिसून येतो. हायड्रोजनचा समावेश अजिबात नसणारे पदार्थ कधी कधी अशाच प्रकारचा परिणाम दाखवतात. पण तो परिणाम विशेष लक्षात येण्याइतका असत नाही.

या सर्व प्रकारांचे किंवा घटनांचे स्पष्टीकरण पुढे दिल्याप्रमाणे करता येते शून्यकण आणि धनकण यांचा भार जवळ जवळ समान आहे. जलदगती शून्यकण धनकणावर आदळल्यावर, त्याची गतिक ऊर्जा शून्यकण व धनकण यात विभागली जाते. १०[६] इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा असलेल्या शून्यकणाने हायड्रोजन अणूवर म्हणजे त्याच्या अणुगर्भावर वीस वेळा आघात केल्यास, औष्णिक चलनवलनाच्या वेळी त्याची जी ऊर्जा असते, तिथपर्यन्त ती कमी होते असे सिद्ध करता येते. तेव्हा खूप ऊर्जा असलेल्या शून्यकणानी पॅराफिनमध्ये किंवा पाण्यामध्ये प्रवेश केल्यानंतर, त्यांची ऊर्जा कमी होऊन, त्यांचे मंदगती शून्यकणामध्ये रूपांतर होते. तात्त्विकदृष्ट्या विचार करता आणि प्रयोगांच्या वेळी आलेल्या अनुभवावरून असे दिसून येते की जलदगती शून्यकणाऐवजी मंदगती शून्यकण वापरल्यास, (३) क्रमांकाची अभिक्रिया विशेषेकरून घडून येते. त्यामुळे पॅराफिन किंवा पाणी वापरून शून्यकणांची गती कमी करून, त्यांचा मूलतत्त्वावर मारा केल्यास, त्या मूलतत्त्वातून होणाऱ्या किरणोत्सर्गाची तीव्रता का वाढते याचे स्पष्टीकरण मिळते. मंदगती शून्यकणांच्या माऱ्याने मूलतत्त्वाच्या प्रसामान्य अणुभारापेक्षा एक एकक अधिक

अणुभार असलेला मूलतत्त्वाचा एकस्थानी तयार होतो व तो एकस्थानी अधिक किरणोत्सर्गी असतो.

त्याबरोबर आपण हेही लक्षात ठेवले पाहिजे की हायड्रोजन अणूवर प्रत्यास्थ आघात करण्याची शून्यकणांची शक्ती, त्यांची ऊर्जा कमी झाल्यास कमी होत जाते. त्यामुळे हायड्रोजन अणूवर तीन चार वेळा आघात केल्यानंतर, शून्यकणाची ऊर्जा इतकी कमी होते की त्याची गती कमी होण्याची क्रिया पुरी होण्याच्या आत, शून्यकण पॅराफिन बाहेर पडण्याची शक्यता रहात नाही.

मंदगती शून्यकणांचा मूलतत्त्वावर मारा करून फर्मी व त्याचे सहकारी यानी बहुतेक मूलतत्त्वांचे किरणोत्सर्गी एकस्थानी तयार केले. त्यात जास्त अणुभाराच्या मूलतत्त्वांचाही समावेश आहे. १९३४ मध्ये; त्यावेळपर्यंत माहीत असलेल्या मूलतत्त्वापैकी सर्वात जास्त अणुभाराच्या युरॅनियमवर शून्यकणांचा मारा करण्याचा प्रयोग फर्मीने केला. त्यावेळी युरॅनियमच्या अणुक्रमांकाहून जास्त अणुक्रमांक असलेले मूलतत्त्व मिळाले असे त्याला वाटले. निसर्गात जास्त प्रमाणात आढळणाऱ्या युरॅनियमच्या एकस्थानीचा अणुभार २३८ असून, त्याच्या अणुगर्भात ९२ धनकण व १४६ शून्यकण आहेत. तेव्हा त्याचे रासायनिक चिन्ह $^{238}_{92}U$ असे आहे. युरॅनियम किरणोत्सर्गी असून, त्यातून अल्फाकण बाहेर पडत असतात. युरॅनियममधून बीटा कण बाहेर पडले तर सॉडीच्या नियमाप्रमाणे त्याच्या अणुगर्भात ९३ धनकण राहातील व ९३ अणुक्रमांकाचे मूलतत्व तयार होईल. परंतु १९३४ साली ९३ अनुक्रमांकाचे मूलतत्त्व अस्तित्वात असल्याचे माहित नव्हते. ९२ अणुक्रमांकाचे युरॅनियम हे आवर्तनसारणीतील शेवटचे मूलतत्व आहे असे मानीत असत. युरॅनियमवर शून्यकणांचा मारा करण्याचा प्रयोग फर्मीने केला तेव्हा युरॅनियममधून गॅमा किरणांचे उत्सर्जन होत असल्याचे त्यास आढळले. या गॅमा किरणांच्या जोडीला बीटा कणही, शून्यकणांचा मारा केलेल्या युरॅनियममधून बाहेर पडत होते व त्यांचे उत्सर्जन काही काळपर्यंत चालू होते. फर्मीने त्या घटनेचा अर्थ असा लावला की त्यावर आदळलेला शून्यकण (मंदगती) युरॅनियमने स्वताकडे सामावून घेतला आणि नव्याने तयार झालेल्या युरॅनियमच्या एकस्थानीमधून एक बीटा कण बाहेर पडल्याने २३९ अणुभाराचे व ९३ अणुक्रमांकाचे निसर्गात नसलेले मूलतत्व तयार झाले. (९२ धनकण + १४६ शून्यकण + सामावून घेतलेला १ शून्यकण त्यामुळे या मूलतत्वाचा अणुभार २३९ व मूळचे ९२ धनकण व एका शुन्यकणातून बीटा कण बाहेर गेल्याने त्याचे धनकणात रूपांतर झाले. त्यामुळ एकंदर ९३ धनकण. म्हणून या नवीन मूलतत्वाचा अणुक्रमांक ९३).

२३९ अणुभाराचे व ९३ अणुक्रमांकाचे मूलतत्व तयार होण्याची प्रक्रिया दोन टप्प्यात घडून येते असे आता समजून आले आहे. प्रथमतः युरॅनियम अणू एक शून्यकण स्वतामध्ये सामावून घेतो आणि त्यातून एक गॅमा किरण बाहेर पडतो आणि २३९ अणुभाराचे युरॅनियम तयार होते. ही प्रक्रिया

$$^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}U + \gamma$$

या समीकरणाने दाखवता येते.

या २३९ अणुभाराच्या युरॅनियममधून बीटा कण बाहेर पडून त्याचे ९३ अणुक्रमांकाच्या नेपच्युनियममध्ये रूपांतर होते. ही प्रक्रिया

$$^{239}_{92}U \rightarrow {}^{239}_{93}Np + {}^{0}_{-1}e$$

या समीकरणाने दाखवता येते.

नेपच्युनियमसुद्धा किरणोत्सर्गी आहे व त्यातून बीटा कण बाहेर पडून त्याचे ९४ अणुक्रमांकाच्या नेपच्युनियममध्ये रूपांतर होते. ही प्रक्रिया

$$^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + {}^{0}_{-1}e \quad \text{अशी आहे.}$$

फर्मीने १९३४ साली मंदगती शून्यकणांचा युरॅनियमवर मारा करण्याचा प्रयोग केला, त्यावेळी या सर्व प्रक्रिया नीटपणे समजल्या नव्हत्या. आपले निष्कर्ष बरोबर आहेत, की नाही हे पाहाण्यासाठी फर्मीने व त्याच्या सहकाऱ्यानी युरॅनियमवर शून्यकणांचा मारा करण्याचे प्रयोग पुन्हा पुन्हा करून पाहिले. फर्मीने काढलेले निष्कर्ष बरोबर आहेत असे वाटू लागले. पण शून्यकणांच्या माऱ्याने युरॅनियमपासून तयार झालेल्या निरनिराळ्या मूलतत्वांच्या एकस्थानीच्या बाबतीत एकवाक्यता होईना. बरीचशी उलटसुलट माहिती हाती आली.

१९३८ मध्ये हान (यास १९४४ सालचे रसायनशास्त्राचे नोबेल पारितोषिक मिळाले.) आणि स्ट्रासमन यानी युरॅनियमवर शून्यकणांचा मारा करण्याचा प्रयोग पुन्हा नव्याने केला व प्रयोगात मिळालेल्या नवीन किरणोत्सर्गी पदार्थाचे कसून रसायनिक पृथःकरण केले. युरॅनियमवर शून्यकणांचा मारा केल्यास, त्यातील काही युरॅनियम अणूचे विभाजन होऊन, कमी अणुभाराच्या मूलतत्वांचे एकस्थानी

तयार होतात असे त्याला आढळले. कमी अणुभाराच्या मूलतत्वांच्या एकस्थानी— मध्ये एक एकस्थानी बेरियमचा होता. अशा रीतीने अणुगर्भीय विभाजनाचा शोध १९३८ मध्ये लागला. हान व स्ट्रासमनचा हा शोध पुन्हा पुन्हा तपासून, २३५ अणुभाराच्या युरॅनियमवर मंदगती शून्यकणांचा मारा केल्यास, त्या युरॅनियम अणूचे विभाजन होऊन, बरीचशी औष्णिक ऊर्जा बाहेर पडते याबद्दल खात्री करण्यात आली. या अणुगर्भीय विभाजनाची परिणती १ ४३ मध्ये जपानमध्ये टाकलेल्या अणुबाँबमध्ये झाली. नोबेल पारितोषिक वितरण समारंभाहून थेट अमेरिकेला पोचल्यावर फर्मीने अण्विक ऊर्जा नियंत्रित प्रकारे कशी उपलब्ध करून घ्यायची याविषयीचे अनेक प्रश्न सोडविले आणि युरॅनियमपासून प्लेटोनियम तयार करण्याकरिता पहिली अणुभट्टी १९४२ च्या डिसेंबर महिन्यात शिकागो येथे उभारली. युरॅनियम विभाजनाचा उपयोग अणूबॉम्ब व अणुभट्टी तयार करण्याकडे करता येईल असे मत स्वदेशातून परागंदा होऊन अमेरिकेस पोचलेल्या युरोपियन शास्त्रज्ञांनी व्यक्त केले. अमेरिकेने अणुबॉम्ब निर्मितीच्या कार्यास सुरवात करावी यासाठी आइन्स्टाइनने अध्यक्ष रूझवेल्ट यांची भेट घेऊन, त्याबाबतीत त्यांचे मन वळविले. नैसर्गिक युरॅनियममधून, २३५ अणुभाराचे युरॅ-नियम मिळवणे व त्याचा उपयोग अणुबॉम्ब तयार करण्याकरिता करणे, २३८ अणुभाराच्या युरॅनियमपासून नेपच्युनियम व त्यापासून प्लुटोनियम मिळविणे व त्या प्लुटोनियमचा अणुबॉम्बमध्ये उपयोग करणे, इत्यादी अणुबॉम्ब व अणुभट्टीविषयीचे विविध प्रश्न सोडविण्यात फर्मीने सिंहाचा वाटा उचलला आहे. प्लुटोनियम तयार करण्यासाठी वापरण्यात येणाऱ्या अणुभट्टीला फर्मी भट्टी या नावानेही ओळखतात.

किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वातून बीटा कण कसे बाहेर पडतात या प्रश्नासंबंधी फर्मीने तात्त्विक संशोधन केले आहे. अणुगर्भात धनकण व शून्यकण असतात ही उपपत्ती इतर काही गोष्टींचे स्पष्टीकरण देऊ शकत होती. पण अणूतून बीटा कण कसे बाहेर पडतात याचे स्पष्टीकरण त्या उपपत्तीच्या आधारे मिळत नव्हते. या विषयीची अेक नवीन उपपत्ती फर्मीने १९३४ साली मांडली असून तिला शास्त्र-ज्ञानी मान्यता दिली आहे. त्या उपपत्तीप्रमाणे धनकण व शून्यकण ही एकाच मूलभूत कणांची दोन भिन्न रूपे आहेत. (या मूलभूत कणाला त्याने न्युक्लिऑन असे नाव दिले) धनकणाचे शून्यकणात रूपांतर झाले तर पॉझिट्रॉनचे उत्सर्जन होते आणि शून्यकणाचे धनकणामध्ये रूपांतर झाले तर इलेक्ट्रॉनचे किंवा ऋण-कणाचे उत्सर्जन होते. ऊर्जेचे संरक्षण (conservation) कसे होते याचे स्पष्टीकरण देताना, फर्मीने ऋणकणाहूनही अत्यंत सूक्ष्म कणाचे अस्तित्व तात्त्विक-

दृष्टया मान्य केले. पॉली (यास १९४५ सालचे नोबेल पारितोषिक मिळाले) या शास्त्रज्ञाने केवळ तात्त्विक दृष्टया विचार करून, इलेक्ट्रॉनइतक्या भाराचा व अजिबात विद्युतभार धारण न करणारा एक अत्यंत सूक्ष्म कण अस्तित्वात असायला पाहिजे असे मत व्यक्त केले होते. तात्त्विक दृष्टया त्या कणाचे अस्तित्व मान्य करून, फर्मीने त्यास न्युट्रिनो (शून्यकणिका) असे नाव दिले. फर्मीच्या उपपत्ती-प्रमाणे अणूमधून पॉझिट्रॉनचे किंवा इलेक्ट्रॉनचे उत्सर्जन होताना, त्या कणांच्या जोडीला न्यूट्रिनोचेही उत्सर्जन होत असते. फर्मीने न्युट्रिनोचे अस्तित्व मान्य केले तरी त्याचे अस्तित्व सिद्ध करणारा प्रायोगिक पुरावा बरीच वर्षे मिळाला नाही. त्याचे अस्तित्व दर्शवणारे अप्रत्यक्ष पुरावे मात्र भरपूर मिळाले आहेत.

संशोधनाचे परिणाम

घडवून आणलेल्या कृत्रिम किरणोत्सर्गाविषयी फर्मीने केलेले संशोधन अतिशय महत्त्वाचे आहे. त्या संशोधनामुळे किरणोत्सर्गी एकस्थानींच्या गुणधर्मांच्या आणि ते एकस्थानी ज्या अणुगर्भीय अभिक्रियामुळे निर्माण होतात त्या अभिक्रियांच्या अभ्यासास सुरवात झाली. सध्या प्लुटोनियम धरून सर्व मूलतत्त्वांचे किरणोत्सर्गी एकस्थानी तयार करण्यात आले आहेत. फक्त हायड्रोजनचा किरणोत्सर्गी एकस्थानी तयार झालेला नाही. अणुभट्टी उभारण्यासाठी फर्मीने केलेल्या परिश्रमामुळे आण्विक ऊर्जा नियंत्रित प्रकारे कशी उपलब्ध करून घ्यायची याचे तांत्रिक ज्ञान मिळाले. फर्मीच्या या कामाचे महत्त्व किती आहे हे वेगळे सांगायला नको. त्याच्या संशोधनामुळे अणुयुगाला सुरवात झाली या एका छोटयाशा वाक्यात त्याच्या संशोधनाचे महत्त्व सांगता येते.

१९३९

अर्नेस्ट ऑर्लँडो लॉरेन्स

(१९०१-१९५२)

"सायक्लोट्रॉन यंत्राचा शोध, त्याची उभारणी व ते यंत्र वापरून कृत्रिम किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वे निर्माण करण्याची पद्धत शोधल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक."

चरित्र

अमेरिकेच्या दक्षिण डाकोटा संस्थानातील कॅन्टन गावी, ८ ऑगस्ट १९०१ अर्नेस्ट ऑर्लॅन्डो लॉरेन्सचा जन्म झाला. त्या संस्थानातील कॅन्टन व प्यिर गावी त्याचे शालेय शिक्षण झाले. मिनेसोटा संस्थानाच्या नॉर्थफील्ड शहरातील सेन्ट ओलाफ कॉलेज व त्यानंतर दक्षिण डाकोटा विद्यापीठात त्याचे पदवीपूर्व शिक्षण झाले. १९२२ साली भौतिकीशास्त्राचा विशेष अभ्यास करून, तो दक्षिण डाकोटा विद्यापीठाचा पदवीधर झाला. पदव्युत्तर शिक्षण मात्र त्याने मिनेसोटा विद्यापीठात घेतले व १९२३ साली त्याने त्या विद्यापीठाची अेम्. अे. पदवी संपादन केली. या विद्यापीठात असताना, विश्वकिरणाविषयीच्या संशोधनाबद्दल प्रसिद्ध असलेल्या डॉ. डब्ल्यु. एफ्. जी. स्वान यांच्या व्यक्तिमत्वाची त्यावर विशेष छाप पडून, त्यांच्या मार्गदर्शनाखाली पीअेच्. डी. पदवीसाठी संशोधन करण्याचे त्याने ठरविले. त्यास अेम्. अे. पदवी मिळेपर्यंत, डॉ. स्वाननी येल विद्यापीठात प्राध्यापकीय

जबाबदारी पत्करल्याने, ते येलला गेले. त्यामुळे लॉरेन्सही येलला गेला. तेथे डॉ. खान यांच्या मार्गदर्शनाखाली संशोधन करून, त्याने १९२५ साली त्या विद्यापीठाची पीएच्. डी. पदवी संपादन केली. नॅशनल रिसर्च फेलो व त्यानंतर सहाय्यक प्राध्यापक म्हणून त्याने येल विद्यापीठात तीन वर्षे काढली. १९२८ मध्ये बार्टोल रिसर्च फाऊंडेशनच्या संचालकपदी डॉ. स्वानची नियुक्ती झाल्याने, त्यानी येल विद्यापीठाचा निरोप घेतला. तोपर्यन्त लॉरेन्सने केलेल्या संशोधन कार्याचा बोलबाला झाला होता व एक हुषार तरुण प्राध्यापक म्हणून त्यास ओळखू लागले होते. त्यामुळे कॅलिफोर्निया विद्यापीठाने त्यास १९२८ मध्ये भौतिकी-शास्त्राचा सहाय्यक प्राध्यापक नेमले. दोनच वर्षांनी म्हणजे १९३० मध्ये त्याच विद्यापीठात त्याची प्राध्यापकपदी नेमणूक झाली. १९३९ मध्ये त्या विद्यापीठाच्या 'रेडिएशन' (किरणोत्सर्ग) प्रयोगशाळेचा संचालक नेमण्यात आले. कॅलिफोर्निया विद्यापीठात त्याने जे संशोधन केले, त्या संशोधनाने त्यास नोबेल पारितोषिक विजेत्याचा मान मिळवून दिला.

अमेरिकेच्या फ्रँकलिन इन्स्टिटयूटने त्यास इलियट क्रेसन पदक दिले आहे. लंडनच्या रॉयल सोसायटीचे ह्युजेस पदक व अमेरिकेच्या नॅशनल ॲकेडमी ऑफ सायन्सेसचे कॉम्स्टॉक पदक त्यास मिळाले आहे. शिवाय अमेरिकेच्या रिसर्च कॉर्पोरेशनचे पारितोषिकही त्यास मिळाले असून, १९३४ मध्ये अमेरिकेच्या नॅशनल ॲकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेचे माननीय सभासदत्व त्यास मिळाले आहे. २७ ऑगस्ट १९५८ रोजी त्याने इहलोकचा निरोप घेतला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

१९३४ पासून, पुढच्या पाच वर्षात लॉरेन्सने आपल्या नावावर किंवा आपले सहाय्यक व विद्यार्थी याच्या साहाय्याने जोडनावावर एकंदर छपन्न संशोधन निबंध प्रसिद्ध केले आहेत. पीएच्. डी. पदवीसाठी त्याने लिहिलेला संशोधन ग्रंथ फोटो-इलेक्ट्रिसिटी किंवा प्रकाश-विद्युत या विषयावर होता. ती पदवी मिळाल्यावरसुद्धा त्याचे येल व त्यानंतर कॅलिफोर्निया विद्यापीठात त्याच विषयावर संशोधन चालू होते. येल विद्यापीठात नॅशनल रिसर्च फेलो म्हणून काम करीत असता, पारद-अणूचे आयनीकरण विभव या विषयासंबंधी त्याने महत्त्वाचे संशोधन पार पाडले. पारद अणूच्या आयनीकरण विभवाची ती जास्तीत जास्त अचूक मोजणी होती.

अणूमधून एक ऋणकण दूर करून त्याचे धन-आयनात रूपांतर करण्यासाठी लागणारे व्होल्टेज दहा व्होल्टच्या एककाने मोजता येण्यासारखे असते. शून्यकणांचा शोध लागण्यापूर्वी, अणुगर्भाचे विघटन घडवून आणून, त्यापासून निराळा अणू तयार करण्यासाठी, अणूवर खूप मोठी ऊर्जा असलेल्या कणांचा मारा करावा लागे. ही ऊर्जा तसे पाहायला गेल्यास अत्यंत अल्प म्हणजे दहा लक्ष किंवा त्याहून अधिक इलेक्ट्रॉन-व्होल्ट आहे. दशलक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा एक पंधरा लक्षांश अर्ग इतकी असते. (एक फूट पाउंड=सत्तर लक्ष अर्ग) ऋणकणाला दश लक्ष इलेक्ट्रॉन व्होल्ट उर्जा प्राप्त करून देण्यासाठी दहा लाख व्होल्ट विभव वापरावे लागते. इतकी मोठी विभव न वापरता, खूप मोठी ऊर्जा असलेले कण मिळविण्याची पद्धत लॉरेन्सने शोधून काढली हे लॉरेन्सच्या संशोधनाचे मर्म आहे. या संशोधनाबद्दल व यानंतर केलेल्या संशोधनाबद्दल लॉरेन्सला नोबेल पारितोषिक मिळाले.

फक्त पंचवीस हजार व्होल्ट विभव फरक वापरून, पन्नास हजार व्होल्ट विभव फरक वापरल्यावर कणाला प्राप्त होणाऱ्या उर्जेइतकी उर्जा कणाला प्राप्त करून देण्याची, आर्. विडेरो नावाच्या जर्मन शास्त्रज्ञाने एका संशोधन-निबंधात वर्णन केलेली पद्धत लॉरेन्सच्या वाचनात आली. विडेरोने वर्णन केलेली पद्धत जास्त ऊर्जा असलेले कण प्राप्त करण्यासाठी वापरता येत नव्हती. पण त्या पद्धतीत सुधारणा करता येईल असे वाटल्याने लॉरेन्सने विडेरोच्या पद्धतीत सुधारणा करण्याच्या कार्यास हात घातला. त्यातून सायक्लोट्रॉन या यंत्राची निर्मिती झाली. लॉरेन्सने आपल्या एका विद्यार्थ्याच्या सहाय्याने १९३० च्या जानेवारी महिन्यात सायक्लोट्रॉन यंत्राची उभारणी केली व त्याच वर्षाच्या सप्टेंबर महिन्यात बर्कले येथे भरलेल्या नॅशनल अॅकेडमी ऑफ सायन्सेसच्या सभेला या यंत्राची माहिती दिली.

सायक्लोट्रॉन यंत्राची उभारणी एका साध्या तत्त्वावर केली आहे. विद्युत-भारवाही कण विद्युतक्षेत्रात एका दिशेने व परत विरुद्ध दिशेने सारखा फिरवून व दरवेळी विद्युतक्षेत्राची दिशा बदलून म्हणजे प्रत्येक वेळी विद्युतक्षेत्रात प्रवेश कर-ताना, कणावरील विद्युतभाराच्या विरुद्धप्रकारचा विद्युतभार विद्युतक्षेत्राचा असेल अशी योजना करून कणांची गती टप्प्याटप्प्याने वाढवत न्यायची हे सायक्लो-ट्रॉनच्या उभारणीतील मुख्य तत्त्व आहे. सपाट, वाटोळ्या जमिनीस समांतर,

---

[o] अेक व्होल्ट विभव फरकातून अेका ऋणकणाला गती दिल्यास, त्या कणाला अेक इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा प्राप्त होते.

धातूच्या ड्रमचे दोन अर्धवर्तुळाकार भाग किंवा कणिका करायच्या. या कणिकामध्ये थोडे अंतर ठेवून, चांगल्या शक्तिशाली इलेक्ट्रोमॅग्नेटच्या (विद्युत चुंबकाच्या) ध्रुवामध्ये अशा तऱ्हेने ठेवतात की त्या कणिकामध्ये वरपासून खालपर्यन्त अेकरूप चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होते. या कणिकामध्ये विभव फरक असल्यास, विद्युतभार-वाही कण दोन कणिकामधल्या मोकळ्या जागेत आल्यावर त्याची गती वाढते व तो एका कणिकेतून दुसऱ्या कणिकेत प्रवेश करतो. या दुसऱ्या कणिकेत त्याच्यावर विद्युतक्षेत्राचा परिणाम होणार नाही याची काळजी घेतल्यास चुंबकीय क्षेत्रामुळे त्याला वर्तुळाकार गती मिळते. या दुसऱ्या कणिकेतला अर्धवर्तुळाकार मार्ग चालून गेल्यावर, कण दोन कणिकामधील मोकळ्या जागेत येईपर्यन्त विद्युतक्षेत्राची दिशा बदलतात. त्यामुळे कणाच्या गतीत पुन्हा एकदा वाढ होते, व वाढत्या गतीने कण पहिल्या कणिकेत प्रवेश करतो. तेथे गेल्यावर चुंबकीय क्षेत्रामुळे त्याचा मार्ग अर्धवर्तुळाकार व वाढत्या गतीमुळे जास्त त्रिज्येचा होतो. पुन्हा पहिल्या कणिकेतून दुसरीत जाताना कणाच्या गतीत व कणाच्या वर्तुळाकार मार्गाच्या त्रिज्येत वाढ होते. असे पुन्हा पुन्हा करीत राहिल्यास, तो कण कणिकामध्येच पण अगदी बाहेरच्या कक्षेत येतो. दोन कणिकामधील मोकळ्या जागेतून, जितक्या वेळा त्याने उडी घेतली असेल, तितक्या पट त्याचा वेग वाढलेला असतो. कण सर्वात बाहेरच्या कक्षेत आल्यावर तो कणिकातच फिरत न राहता, त्यातून बाहेर येईल अशी व्यवस्था करतात. अशा रीतीने खूप गती प्राप्त झाल्याने कणाला खूप मोठी ऊर्जा प्राप्त होते. अशा खूप ऊर्जा असलेल्या कणाचा, पाहिजे त्या मूलतत्त्वाच्या अणूवर मारा करतात.

कणाच्या अर्धवर्तुळाकार मार्गाची त्रिज्या वाढती असली तरी तो मार्ग क्रमण्यासाठी लागणाऱ्या वेळात फरक होत नाही. हा वेळ कणाचा भार, त्यावरील विद्युतभार व चुंबकीय क्षेत्राचे बल यावरच फक्त अवलंबून असतो व त्या वेळावर कणाच्या मार्गाची त्रिज्या व कणाचा वेग यांचा काहीही परिणाम होत नाही. कणाचा वेग वाढल्यास, कणाच्या मार्गाची त्रिज्या वाढते. पण अर्धवर्तुळाकार मार्ग क्रमण्यासाठी लागणाऱ्या वेळात फरक नाही. त्यामुळे कणिकामधील मोकळ्या जागेत येण्यासाठी लागणाऱ्या वेळात फरक होत नाही, व त्यावरील विद्युतक्षेत्राची दिशा बदलण्याचा वेळ ठरवता येतो. म्हणजे ज्या क्षणी विद्युत क्षेत्राची दिशा बदलायची त्याच क्षणी, कण कणिकामधल्या मोकळ्या जागेत येईल हे पाहिले जाते. विद्युतक्षेत्राची दिशा बदलण्याचे कार्य, कणिका अे. सी. विद्युतप्रवाह देणाऱ्या विभव फरकाला जोडून होते, व विद्युतप्रवाहाची दिशा बदलण्याची frequency किंवा वारंवारता अशी असते की कण व कणिकामधील मोकळ्या

जागेत येण्याचा क्षण व विद्युतक्षेत्राची दिशा बदलण्याचा क्षण एकच येतो. टंग्स्टन धातूची तार तापवून मिळणाऱ्या ऋणकणामुळे आयनीकरण झालेले वायुरेणू म्हणजेच विद्युतभारवाही कण सायक्लोट्रॉनमध्ये वापरतात.

या वर्षीच्या नोबेल पारितोषिक विजेत्यांची नावे जाहीर होईपर्यन्त, दुसऱ्या महायुद्धाला सुरवात झाली होती. त्यामुळे त्यावर्षी नेहमीचा पारितोषिक वितरणाचा समारंभ व त्यावेळचे पारितोषिक विजेत्याचे व्याख्यान झाले नाही. लॉरेन्सने केलेल्या संशोधनाची माहिती, १९३२ मध्ये त्याने एम्. स्टॅनले लिव्हिंगस्टन याच्या सहकार्याने फिझिकल रेव्ह्यू मासिकात लिहिलेल्या लेखात मिळते. त्यावरून त्यानी तयार केलेल्या सायक्लोट्रॉन यंत्राची व त्या यंत्राच्या सहाय्याने केलेल्या संशोधनाची माहिती दिली आहे.

मोठे व्होल्टेज न वापरता, अतिवेगवान व हलक्या आयनांची निर्मिती :

रदरफोर्ड व त्याच्या सहकाऱ्यानी कृत्रिम किरणोत्सर्गाविषयी केलेले अभिनव प्रयोग, बोथे व बेकर यानी केलेले अणुगर्भ प्रकाश लहरींचे संवेदनीकरण किंवा सक्रियाकरण यामुळे एक महत्त्वाची गोष्ट समजून आली व ती ही की अणुगर्भाशिवाय इतर शेष अणूचे गुणधर्म समजून येण्यासाठी ज्या संशोधन पद्धती वापरल्या त्याच पद्धती अणुगर्भाचे गुणधर्म अभ्यासण्यासाठी उपयोगी पडू शकतील. प्रयोगशाळेत अणुगर्भाला कृत्रिमरीत्या चेतना दिल्यावर, त्यामध्ये जे फरक घडून येतात, त्यांच्या अभ्यासातून बरीचशी उपयुक्त माहिती मिळेल असे वाटते. त्यामुळे अणुगर्भाला चेतना देण्याच्या पद्धती प्रथमतः अभ्यासल्या पाहिजेत असे वाटून त्याकडे प्रथमतः लक्ष पुरविले.

अणुगर्भाला चेतना दिल्यानंतर खूपच उपयुक्त माहिती मिळेल हे जरी खरे असले तरी ते कार्य तितकेच अवघड आहे. अणुगर्भातील निरनिराळ्या कणाना एकत्र ठेवणाऱ्या बंधनऊर्जेमुळे, अणुगर्भ त्याला चेतना देण्याच्या कार्यास मोठा विरोध करतो. अणुगर्भीय ऊर्जा पातळ्या परस्परापासून फार भिन्न असतात. त्यामुळे अणुगर्भाला चेतना देण्यासाठी खूप मोठ्या प्रमाणात ऊर्जा वापरावी लागते. ती ऊर्जा कित्येक लाख इलेक्ट्रॉन-व्होल्ट असावी लागते.

त्यामुळे अणुगर्भाला चेतना देण्यासाठी कोणत्या पद्धती वापरता येतील याचा आम्ही प्रथमतः विचार केला. दोन पद्धती आमच्या डोळ्यासमोर होत्या. गॅमा

किरण शोषण केल्यावर अणुगर्भाला चेतना मिळेल असे वाटत होते. अतिजलद कणांचा अणुगर्भावर मारा केला व असे कण अणुगर्भावर आदळले तर अणुगर्भाला चेतना येईल अशी दुसरी कल्पना होती.

गॅमा किरण अणुगर्भाकडून शोषण करण्याविषयी जे प्रयोग नुकतेच झाले आहेत, त्यावरून जास्त अणुभाराच्या मूलतत्त्वाच्या अणुगर्भाने गॅमा किरण शोषल्यास त्यांच्या अणुक्रमांकात फरक पडतो. यावरून या पद्धतीने अणुगर्भाला चेतना मिळते असे सिद्ध होते. त्यामुळे गॅमा किरणांचे शोषण ही क्रिया वऱ्याच वेळा घडवून आणण्यासाठी, भिन्न भिन्न तीव्रतेचे गॅमा किरण मिळविण्याविषयी आमच्या प्रयोगशाळेत व इतरत्र संशोधन चालू आहे.

रदरफोर्डने व त्याच्या सहकाऱ्यानी जलदगती कणांचा अणुगर्भावर मारा करून जे निष्कर्ष काढले, त्यांचा विचार करता, गॅमा किरणांच्या शोषणापेक्षा, अणुगर्भावर जलदगती कणांचा मारा करण्याची पद्धत जास्त उपयुक्त ठरेल असे आम्हाला वाटले. किरणोत्सर्गी मूलतत्त्वातून बाहेर पडणाऱ्या कमी ऊर्जेच्या अल्फा कणांचा मूलतत्त्वावर मारा करून, अनुगर्भीय प्रक्रियासंबंधी जी निश्चित स्वरूपाची व महत्त्वाची माहिती रदरफोर्डने व इतरानी गोळा केली त्यात त्यांचे उच्च प्रतीचे प्रायोगिक कौशल्य दिसून आले. शिवाय त्यांच्या संशोधनामुळे अल्फा कणांचा अणुगर्भावर मारा करणाऱ्या पद्धतीची उपयुक्तता समजून आली, आणि त्यामुळे अल्फा कणांची ऊर्जा काही तरी करून वाढवता येण्याची आवश्यकता उत्पन्न झाली. तसे केल्यास जास्त अणुभाराच्या मूलतत्त्वांच्या अणुगर्भावर अशा जास्त ऊर्जेच्या किंवा जास्त दिलेल्या अल्फा कणांचा मारा करून, कोणत्या अणुगर्भीय प्रक्रिया घडून येतात, याचे संशोधन करता येईल. अणुगर्भीय प्रक्रिया घडवून आणण्यासाठी फक्त अल्फा कणच वापरले पाहिजेत असा निष्कर्ष मात्र कोणी काढू नये. अल्फा कणाहून हलक्या किंवा जास्त जड कणाना अवश्य तितकी ऊर्जा दिल्यानंतर म्हणजे गतीमान केल्यानंतर, त्यांच्या माऱ्याने अणुगर्भात काय प्रक्रिया घडून येतात याचा अद्यापी अभ्यास व्हायचा आहे.

वेगवान धनकण किंवा प्रोटॉन व अल्फा कण यापैकी कोणत्या कणांची अणुगर्भावरील मारा जास्त यशस्वी होईल हे आता जरी सांगता आले नाही, तरी अणुगर्भावर कणांचा मारा करून, त्याना चेतना द्यायची असेल, तर कमी अणुक्रमांकाच्या मूलतत्त्वापासून मिळविलेले धनआयन त्यासाठी वापरले पाहिजेत

एवढी गोष्ट आता स्पष्ट झाली आहे. त्यामुळे अशा कणाना, प्रयोगशाळेत जो वेग देण्यात येतो, त्यापेक्षा खूपच जास्त वेग देण्याच्या पद्धती शोधल्या पाहिजेत.

या गोष्टीचे महत्त्व समजून आल्याने, अतिवेगवान कण व आयन मिळविण्यासाठी, खूप मोठे व्होल्टेज निर्माण करून त्याचा या कार्यासाठी उपयोग करण्यासाठी बऱ्याचशा प्रयोगशाळातून संशोधन चालू आहे.

खूप मोठे व्होल्टेज वापरून, कणाना वेग देण्याच्या पद्धतीला प्रायोगिक मर्यादा पडतात. व्होल्टेज वाढू लागल्यावर प्रायोगिक अडचणी वाढू लागतात. अतिशय मोठ्या व्होल्टेजला दाद देणार नाही असा इन्सुलेशनसाठी (विद्युत प्रतिरोधासाठी) कोणता पदार्थ वापरावा ही एक मोठी अडचण निर्माण होते. तसेच अतिशय मोठ्या व्होल्टेजला वापरता येतील अशा निर्वात नलिकांची रचना काय असावी हा प्रश्न सोडवावा लागतो.

या सर्व कारणामुळे विद्युतभारवाही कणाना वेग देऊ शकतील व ते करण्यासाठी अतिशय मोठ्या व्होल्टेजची जरूर पडणार नाही अशा पद्धती शोधून काढण्याची आवश्यकता आम्हाला पटली, व त्या दिशेने आमचे प्रयत्न सुरू झाले. प्रयोगशाळेत वापरता येण्यासारखे कमी खर्चाचे उपकरण वापरून, साधारण दहा लाख इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा असलेले विद्युतभारवाही कण मिळविणे व ते कण मिळविण्याच्या पद्धतीची प्रायोगिक व्यवस्था सुलभतेच्या कक्षेत आणणे हे आमचे पहिले उद्दिष्ट होते. हे साध्य झाल्यास, निरनिराळ्या मूलतत्वांच्या अणूवर अतिवेगवान कणांचा मारा केल्यावर, घडून येणाऱ्या अणुगर्भीय अभिक्रियांचा अभ्यास करणे सहज शक्य होते. शक्य तितके जास्तीतजास्त व्होल्टेज वापरल्यावर मिळणाऱ्या अति ऊर्जावान कणापेक्षा जास्त ऊर्जा असलेले कण–कदाचित एक कोटी इलेक्ट्रॉन–व्होल्ट ऊर्जा असलेले कण–मिळविणे हे आमचे उद्दिष्ट होते.

आयनाना वाढती गती देण्याची एक पद्धत, आम्ही १९३१ सालच्या फिझिकल रेव्ह्यूमध्ये दिली आहे. त्या पद्धतीत सुधारणा करून, कमी वजनदार आयनाना क्रमाक्रमाने वाढती गती देण्याची पद्धत आम्ही बसवली आहे व ती या निबंधात वर्णिली आहे. अणुगर्भीय अभिक्रियांचा अभ्यास करताना, वेगवान धनकणांचा किती उपयोग होतो हे लक्षात घेऊन, त्याना वाढती गती देण्याची पद्धत बसविण्यासाठी आम्ही विशेष श्रम घेतले आहेत. आम्ही केलेल्या प्रयोगात बारा लक्ष वीस हजार व्होल्ट–प्रोटॉन ऊर्जा असलेले धनकण मिळविण्यात आम्ही यशस्वी झालो असून,

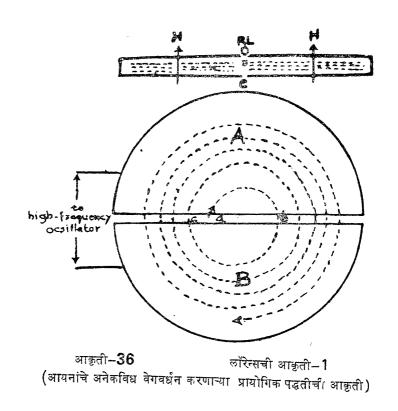
लवकरच एक कोटी व्होल्ट प्रोटॉन ऊर्जा असलेले धनकण आम्हाला मिळविता येतील असा आमचा अंदाज आहे.

प्रायोगिक पद्धत– क्रमाक्रमाने आयनाना वाढता वेग देण्याच्या या पद्धतीत, धातूंच्या नलिकामधून आयन प्रवास करतात व या नलिकाना सोईस्कर बदलते विद्युत विभव लावलेले असते. एका नलिकेच्या अंतर्भागातून, दुसऱ्या नलिकेच्या अंतर्भागामध्ये प्रवेश करताना, आयनाची गती वाढावी अशा प्रकारचे गतीवर्धक विद्युत विभव असते. कणावरच्या विद्युतभाराच्या विरुद्ध प्रकारचा विद्युतभार ज्या नलिकेत तो कण प्रवेश करतो, त्या नलिकेवर असल्याने, तो आयन त्या नलिकेकडे खेचला जातो व त्याची गती वाढते अशा प्रकारे जितक्या नलिका वापराव्या तितक्या पट मूळ आयनाचे व्होल्टेज वाढते व तितक्या प्रमाणात त्यांची ऊर्जा आणि गती वाढते. ही पद्धत वजनदार आयनांच्या गती वर्धनासाठी फारच उपयुक्त ठरते. हलक्या म्हणजे वजनाला अतिशय कमी असलेल्या आयनांचा वेग मुळातच मोठा असतो. त्यामुळे आयन जाण्याच्या नलिकावरील विद्युतभार बदलण्याचा काळ पहिल्यासारखाच ठेवायचा असल्यास, त्या नलिकांच्या लांबीत फेर करावा लागतो.

आम्ही सध्या वापरत असलेल्या प्रायोगिक पद्धतीत आयनाला पुन्हा पुन्हा प्रवेश देण्यासाठी विद्युतक्षेत्रात बदल करण्याचे म्हणजे विद्युतभार अधिक किंवा उणे करण्याचे तत्व वापरले आहे. फक्त आयन जाण्यासाठी लांब लांब नलिका न वापरता, चुंबकीय क्षेत्र वापरून आयनाना चक्राकार गती दिली आहे, आणि एका इलेक्ट्रोडच्या अंतर्भागातून दुसऱ्या इलेक्ट्रोडच्या अंतर्भागात शिरताना, त्या इलेक्ट्रोडवरील विद्युतभाग सोईस्कररीत्या बदलण्याचे तत्व अंगिकारले आहे.

प्रयोगाच्या वर्णनावरून, आयनाना क्रमाक्रमाने कशी गती देण्यात येते हे समजून येईल. पुढील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे उपकरणाची मांडणी केली आहे. A व B हे दोन अर्धचंद्राकृती इलेक्ट्रोड असून, ते आतून पोकळ आहेत. निर्वातात हे दोन इलेक्ट्रोड एकाच पातळीत ठेवल्यावर, चक्राकार पूर्ण होईल अशा रीतीने ते निर्वातात ठेवलेले असतात.

हा सर्व भाग चुंबकाच्या दोन ध्रुवामध्ये ठेवून, चुंबकीय क्षेत्र या इलेक्ट्रोडशी काटकोन करणाऱ्या दिशेत कार्य करू शकेल अशा तऱ्हेने, चुंबकाच्या ध्रुवांची स्थाने ठेवतात. खूप मोठी वारंवारता असलेली विद्युत ऑस्सिलेशन या धातूच्या

आकृती–36 लॉरेन्सची आकृती–1
(आयनांचे अनेकविध वेगवर्धन करणाऱ्या प्रायोगिक पद्धतीची आकृती)

अर्धचक्राना लावतात. त्यामुळे त्यामध्ये असणाऱ्या भागात, दिशेची सारखी अदला-बदल होणारे विद्युतक्षेत्र तयार होते.

उपकरणाची अशी मांडणी केल्यावर, जर दोन इलेक्ट्रोडमधील मोकळ्या जागेत एखादा धन आयन असला व A इलेक्ट्रोड B इलेक्ट्रोडच्या मानाने ऋण असला तर तो धन आयन A इलेक्ट्रोडकडे आकर्षला जाऊन त्याचा वेग वाढेल. A इलेक्ट्रोडमध्ये आयनाने प्रवेश केल्यानंतर, चुंबकीय क्षेत्राच्या प्रभावामुळे त्याचा मार्ग चक्राकार राहील व a → b हा कमानाकृती किंवा अर्धचक्राकृती मार्ग क्रमिल्यानंतर तो पुन्हा इलेक्ट्रोडमधील मोकळ्या जागेत येईल. हा अर्धचक्राकृती मार्ग क्रमण्यासाठी आयनाला लागणारा वेग, विद्युत ऑस्सिलेशनच्या अर्धकाल-

खंडाइतका असल्यास, धनआयन b पर्यन्त येईपर्यन्त, विद्युतक्षेत्राची दिशा बदलेल व B इलेक्ट्रोडवर ऋणविद्युतभार असल्याने धन आयन पुन्हा इलेक्ट्रोडकडे खेचला जाऊन, त्याच्या वेगात वाढ होईल. B इलेक्ट्रोडमध्ये आयनाचा मार्ग $b \rightarrow c$ असा कमानाकृती राहील. फक्त वेग वाढल्याने $b \rightarrow c$ या कमानीची त्रिज्या $a \rightarrow b$ कमानीच्या त्रिज्येहून जास्त राहील. वाढत्या वेगाने आयनाच्या भारात होणारा फरक लक्षात न घेतल्यास, इलेक्ट्रोडमध्ये अर्धचक्राकार मार्ग चालून जाण्यासाठी आयनाला लागणाऱ्या वेळेचा, त्याच्या वेगाशी काही संबंध नसतो. ती वेळ नेहमीच स्थिरमूल्य असते. त्यामुळे इलेक्ट्रोडमधील पहिला अर्धचक्राकार मार्ग चालून जाण्यासाठी आयनाला जितका वेळ लागतो, तितक्याच वेळात आयन, दुसरा, तिसरा किंवा त्यानंतरचा अर्धचक्राकार मार्ग चालून जाऊ शकतो. विद्युत ऑस्सिलेशन एकाच गतीने बदलत राहिल्याने, एका इलेक्ट्रोडच्या अंतर्भागातून दुसऱ्या इलेक्ट्रोडच्या अंतर्भागात शिरताना व फिरून दुसऱ्या इलेक्ट्रोडच्या अंतर्भागातून पहिल्याच्या अंतर्भागात शिरताना, आयनाच्या गतीत सारखी वाढ होत राहाणार व त्याच्या अर्धचक्राकार मार्गाची त्रिज्या सारखी वाढत राहाणार. अशा रीतीने दोन इलेक्ट्रोडमधल्या जागेतून पलीकडे जाताना, आयनाच्या गतीत वाढ होऊन त्याची ऊर्जा वाढवणार. दोन इलेक्ट्रोडमधील विद्युतविभव खूप मोठे असल्यास, आयनास जी गती मिळणे शक्य आहे तेवढी गती या प्रकारे मोठे विद्युत-विभव न वापरताही आयनाला देता येणे शक्य आहे. इलेक्ट्रोडमध्ये चार हजार व्होल्ट इतके विद्युतविभव ठेवून, इलेक्ट्रोडवरील विद्युतभाराची अदलाबदल होण्याचा काळ व्यवस्थित ठेवला व धनकणाला इलेक्ट्रोडमध्ये दिडशे फेऱ्या मारू दिल्या तर त्याच्या वेगात तीनशे वेळा वाढ होईल व बारा लक्ष व्होल्ट विद्युतविभव असल्यावर धनकणाला जो वेग प्राप्त होणे शक्य आहे, तितका वेग त्याला प्राप्त होईल.

दोन इलेक्ट्रोडमधील अरुंद जागेत भरपूर प्रमाणात धन आयन मिळवता आल्यास, व ते सर्व त्याना प्रवेश देणारांच्या पातळीत असल्यास म्हणजे प्रवेश देणारांच्या पातळीशी काटकोन करणाऱ्या दिशेत त्या आयनांना मुळीसुद्धा गती नसल्यास आपला कार्यभाग होतो. इलेक्ट्रोडमधील अरुंद जागेवर एक फिलामेन्ट (अत्यंत बारीक व्यासाची तार) ठेवून, चुंबकीय रेषांच्या अनुरोधाने इलेक्ट्रॉनचा प्रवाह सोडल्यास, नलिकेतील वायूपासून धनकण निर्माण होतात. निर्माण झालेले धनकण बदलत्या विद्युतक्षेत्राने बाजूला ओढले जातात. चुंबकीय क्षेत्रात इलेक्ट्रॉनच्या

चक्राकार मार्गाची त्रिज्या फार अल्प असल्याने इलेक्ट्रॉन बाजूला ओढले जात नाहीत. त्यामुळे इलेक्ट्रॉन किंवा ऋणकण धनकणापासून व्यवस्थितरीत्या वेगळे काढले जातात, व सुरवातीस फार थोडा वेग असलेले धनकण, आपल्याला इष्ट वाटेल त्या जागेत मिळतात. बदलत्या विद्युतविभवामुळे ते लगेच बाजूला काढले जातात, व त्याना चक्राकार मार्गाने फिरवून वाढती गती देण्याचे कार्य सुरू होते. याची कल्पना आकृतीच्या वरच्या भागात दिली आहे.

लॉरेन्सने तयार केलेल्या पहिल्या सायक्लोट्रॉनचा व्यास फक्त चार इंच होता. पण इतका लहान सायक्लोट्रॉन वापरूनही, हायड्रोजन आयनाना ऐन्शी हजार व्होल्ट वापरून मिळणारी ऊर्जा, त्या आयनाना देता आली. १९३२ मध्ये अकरा इंची सायक्लोट्रॉन वापरून त्याने साडेबारा लाख व्होल्ट हायड्रोजन आयनांची वेगवान शलाका मिळविली व तिच्या सहाय्याने लिथियम अणूचे विघटन घडवून आणले. याच वर्षी एच्. सी. युरे या शास्त्रज्ञाने (यालाच १९३४ साली रसायन शास्त्रातील संशोधनाबद्दल नोबेल पारितोषिक मिळाले.) कोलंबिया विद्यापीठात जड हायड्रोजनचा किंवा दोन अणुभाराच्या हायड्रोजनचा शोध लावला. हा जड हायड्रोजन सायक्लोट्रॉनमध्ये वापरल्यावर जड हायड्रोजनच्या अणुगर्भाची किंवा ड्युटेरॉनची वेगवान शलाका मिळाली. ही शलाका अणूचे विघटन घडवून आणण्याच्या कामी जास्त परिणामकारक ठरली. १९३९ मध्ये दोनशेवीस टन वजनाचा सायक्लोट्रॉन तयार करण्यात आला. या सायक्लोट्रॉनमधील निर्वात पात्राचा व्यास ६० इंच होता व त्यातून मिळणाऱ्या जड हायड्रोजनच्या अणुगर्भाच्या किंवा डयुटेरॉनच्या शलाकेची ऊर्जा एक कोटी साठ लाख इलेक्ट्रॉन व्होल्ट इतकी होती. सायक्लोट्रॉनविषयीच्या लॉरेन्सच्या मूळ कल्पनेत थोडा फेरफार करून सिंक्रो-सायक्लोट्रॉन तयार करण्यात आला असून, बर्कले येथील रेडिएशन प्रयोग–शाळेत तो बसविला आहे. त्या सिंक्रो-सायक्लोट्रॉनमध्ये चार हजार टन वजनाचा इलेक्ट्रोमॅग्नेट (विद्युती चुंबक) असून, तो कार्यान्वित करण्यासाठी तीनशे टन तांब्याच्या तारेमधून विद्युतप्रवाह सोडावा लागतो. या सिंक्रो सायक्लोट्रॉनमधून वीस कोटी इलेक्ट्रॉन व्होल्ट ऊर्जा असलेली डयुटेरॉन शलाका मिळते.

१९३२ मध्ये इंग्लंडमधील कॅव्हेन्डिश प्रयोग शाळेत, चॅडविक या शास्त्रज्ञाने शून्यकणांचा शोध लावला. या शून्यकणाचा भार हायड्रोजन अणूइतका असून, त्यावर मुळीसुद्धा विद्युतभार नाही. १९३३ मध्ये लॉरेन्सने बेरिलियमवर डयुटे–रॉनचा मारा करण्याचा प्रयोग केला. डयुटेरॉनच्या माऱ्यामुळे बेरिलियम अणूचे

विघटन होऊन, विघटनाच्यावेळी त्यातून भरपूर प्रमाणात शून्यकण बाहेर पडतात असे लॉरेन्सला आढळून आले.

यानंतर निरनिराळ्या मूलतत्त्वावर ड्युटेरॉनचा मारा करून, त्यांचे विघटन घडवून आणून, नवीन किरणोत्सर्गी एकस्थानी तयार करण्याचे कार्य लॉरेन्सने हाती घेतले व बऱ्याच अंशी पूर्ण केले. त्यातल्यात्यात सोडीयमचा किरणोत्सर्गी एकस्थानी तयार करण्याचे त्याचे कार्य विशेष उल्लेखनीय आहे. शरीरात चालू असलेल्या रक्ताभिसरणासारख्या क्रियेचा मागोवा घेण्यासाठी सोडीयमचा किरणोत्सर्गी एकस्थानी अत्यंत सूक्ष्म प्रमाणात शोधक मूलतत्त्व म्हणून वापरतात. नोबेल पारितोषिक मिळण्याआधी, शून्यकणांचे जीवनशास्त्रीय व शारीरिक परिणाम याविषयी लॉरेन्सचे संशोधन चालू होते.

संशोधनाचे परिणाम

सायक्लोट्रॉन यंत्राच्या शोधाने, अती वेगवान धनविद्युतधारी कण—यात अल्फा कण, धनकण व ड्युटेरॉन आले—भरपूर प्रमाणात मिळविण्याचे एक उत्कृष्ट साधन लॉरेन्सने शास्त्रज्ञांच्या हाती दिले. अणुगर्भीय अभिक्रियांच्या अभ्यासासाठी सायक्लोट्रॉनचा खूप उपयोग होईल अशी अपेक्षा होती व ती बऱ्याच अंशी फलद्रुप झाली आहे. सायक्लोट्रॉन यंत्राचा उपयोग करून, ज्या प्रमाणात अणुगर्भीय अभिक्रिया अभ्यासल्या गेल्या आहेत, त्यावरून ही अपेक्षा बऱ्याच अंशी पूर्ण झाली असे म्हणायला हरकत नाही. निरनिराळ्या मूलतत्त्वांचे किरणोत्सर्गी एकस्थानी तयार करण्याचे कार्य सायक्लोट्रॉन यंत्रात, उत्कृष्टपणे पार पाडले जाते. फक्त युरॅनियमवर शून्य कणांचा मारा करून, त्याच्या विभाजनाने किरणोत्सर्गी एकस्थानी मिळविण्याची पद्धत सायक्लोट्रॉन पद्धतीपेक्षा काही बाबतीत जास्त उपयुक्त आहे.

- - - -

१९४०

या वर्षी नोबेल पारितोषिक दिले गेले नाही.